土木試驗所報告

第三十七號

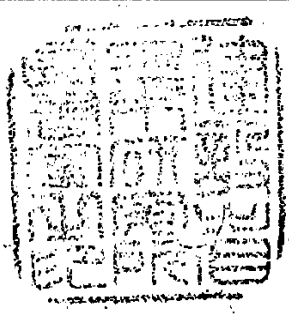
骨材の最大密度の粒度に就て……內務技師　藤井眞透… 1

土の乾燥に伴ふ壓縮强さの變化……內務技師　山田　元…21

アスファルト，タールの性質に及ぼす氣象作用の影響，特にその薄層の場合の性質變化…內務技師　西川榮三…29
內務技手　山田耕之助

岸壁裏込の特殊工法がその安定度に及ぼす影響に關する試驗……內務技師　松尾春雄…87
高橋藤平

コンクリートの熱的性質に關する試驗(第1報)……內務技師　島田八郎…97



昭和十二年五月

內務省土木試驗所

所報三十七号

正　誤　表

頁	行	誤	正
18	第 16 圖右方	A	B
27	本文1行目	8)	(8)
〃	下カラ11行目	9)	(9)
87	最下行	挿入した	注入した.
91	第7圖	1 (2) (3)	(1) (2) (3)
94	下から5行目	方塊も	方塊を

骨材の最大密度の粒度に就て

内務技師　藤　井　眞　透

目　次

I. 總　說……（1）
II. 骨材の最大密度の粒度に關する既往の實驗……（2）
III. 骨材の最大密度の測定方法……（4）
IV. 細骨材の最大密度の粒度……（5）
［1］ 砂の最大密度の粒度……（5）
［2］ 碎石屑の最大密度の粒度……（7）
［3］ 最大密度の實驗式……（8）
V. 粗骨材の最大密度の粒度……（12）
［1］ 砂利の最大密度の粒度……（12）
［2］ 碎石の最大密度の粒度……（13）
［3］ 最大密度の實驗式……（14）
VI. 試驗結果の要約……（17）

I. 總　說

骨材を主體とする混合材の强度は粒子を結合せしむる材料の性質に支配さるゝ事極めて大なるは勿論であるが骨材としては大さを異にする粒子の粒度が骨材を最大密度ならしむる様な配列を有する事は如何なる場合にも第一條件である.

混合物が强度を目的とせずして防音, 防濕等の如く傳導率等の特性を附與するを目的とするものでない限りは, 一般に骨材の密度を最大ならしむる粒子の配列分布をなさしむるは最も緊要なる條件である.

此最大密度の場合の粒子の分布割合を研究するに當り, 骨材の空隙は裝入方法により著しく異るものであるから, 裝入に要する仕事量を測定し, 篩分析により分類したる各粒子群を順次に混加して最小空隙の狀態を求めて之を測定した.

同一比重を有する粒子に就て最小空隙を有する場合の粒子の分布を定め, 此粒度曲線を定むれば, 比重大なる粒子をとれば最大密度の粒子分布を求むる事が出來る.

空隙率は粒子の形狀により著しく異るから丸味を有する砂利と稜角を有する碎石とに就て之を測定した.

砂利及び砂は茨城縣眞壁郡關本町の鬼怒川筋のものを用ひ, 碎石は山梨縣初狩產安山岩をジョー式碎石機により一段破碎したもので, 石屑は碎石をボールミルにより粉碎したも

のである．その粒度は第 1 表に示すが如し．

第 1 表 試料の粒度と比重

砂利			砂			石屑	
篩徑 mm	殘留 %	比重	篩徑 mm	殘留 %	比重	篩徑 mm	比重
31.75	23.27	2.60	2.38	5.33	2.62	2.38	2.65
25.40	43.31	2.57	2.00	6.13	2.62	2.00	2.67
19.05	68.57	2.56	0.85	21.10	2.63	0.85	2.68
12.70	90.99	2.57	0.59	36.09	2.63	0.59	2.70
6.35	99.58	2.58	0.36	57.19	2.64	0.36	2.73
4.76	99.98	2.58	0.297	76.77	2.65	0.297	2.73
			0.177	96.38	2.66	0.177	2.71
			0.149	98.78	2.70	0.149	2.73
			0.074	99.96	2.72	0.074	2.70

砂は粗粒率 2.28 で中粒砂の部類に屬し，篩 No. 50 通過量は 23.2 % に過ぎない．その比重は粒徑の小なるに從ひ大であるのは，硬質で分解し難いものが殘留する爲である．

砂利は粗粒のもの程比重大なるは硬質で分解し難いものが粗粒として殘つてゐるからである．

II. 最大密度の粒度に關する既往の實驗

最大密度の粒度は粒徑の大なるものの間隙に內切し得る最大徑の粒子を以てその間隙に塡充し得るものたるを要し，從來の實驗では大徑の粒子に小徑の粒子を混合する場合に最

第 2 表

	主粒子	塡充副粒子 (大)	塡充副粒子 (小)
半徑	γ	0.41 γ	0.22 γ
粒子體積	4.18 γ^3	0.2875 γ^3	0.0442 γ^3
實容積 (全容積1トシテ)	0.740	0.0443	0.0074
配合 %	93.6	5.6	1.0

配合例

	主粒子	塡充副粒子 (大)	塡充副粒子 (小)
1	60 mm	24.6 mm	13.2 mm
2	30	12.3	6.6
3	20	8.2	4.4
4	10	4.1	2.2
5	篩 No. 10	篩 No. 20	篩 No. 40
6	篩 No. 40	篩 No. 100	篩 No. 200

大密度となり，中徑の粒子を除いたものが考へられて居た．

粒子の形狀を球とし同一徑の粒子が最小空隙を得る樣に配列されたる場合の空隙は，$(1-\pi/3\sqrt{2})$ であつて 26% となり徑の大小に關せず同一である．之等配列の粒子間隙に內接し得る最大徑の塡充用粒子は二種あつてその內徑大なるものは $\sqrt{2}-1=0.41$ で徑小なるものは $\sqrt{6}/2-1=0.22$ である．從つて之等3種の球の混合割合及その空隙は 第 2 表に示す如し．

之により主粒子が 93.6% を占めその間隙を塡充する副球を混加するに從つて空隙は減少するものであるが，骨材としては主粒子も同一徑を有せず，徑の異る粒子群から成り到底之を理論的に求むる事は困難で，加之粒子の形狀も球狀でなく各不同であるから，從來最小空隙を求むる幾多の實驗が行はれ，その結果を實驗式に導かれてゐるが，今主なるものを擧ぐれば次の如し．

(1) **フーラー** (Fuller) **氏** (I)

$$p=100\sqrt{\frac{d}{D}}$$

p：篩孔徑 d を通過する量 %　d：p % を求める孔徑　D：骨材の最大徑

(2) **フーラー** (Fuller) **氏** (II)

$$(p-7)^2=\frac{b^2}{a^2}(2a-d^2)$$

p：篩徑 d を通過する量 %　a，b：常數でその値大體次の如し．D：骨材の最大粒子徑．

	a	b
砂利と砂	$0.04+0.16D$	$26.4+1.3D$
碎石と砂	$0.04+0.16D$	$28.5+1.3D$
碎石と石屑	$0.035+0.14D$	$29.4+2.2D$

(3) **ボロメイ** (Bolomey) **氏**

$$p=A+(100-A)\sqrt{\frac{d}{D}}$$

p：篩徑 d を通過する量 %（セメントを含む）　D：最大徑

A：4 mm 以下のセメントと細骨材との量 % で硬練コンクリートに對し 10，軟練砂利コンクリートに對し 12，同碎石コンクリートに對して 14 とする．

(4) **ダトロン** (Dutron) **氏**

骨材をわけて 5 mm 以上 (G)，2～5 mm (M) 及 2 mm 以下 (F) の三種となし，その混合割合と密度とを圖示して配合を決定する方法とした．

(5) ヤヌーセク (Janousek) 氏

實驗により最大密度のコンクリートに對する骨材の配合表を作つた.

篩目 (mm)	1	2	3	5	7	10	15	20	30
最大 20mmの場合の百分率	20	28	—	40	—	60	—	100	—
最大 30mmの場合の百分率	20	—	28	—	40	—	—	60	100

(6) フルナス (Furnas) 氏

$$\gamma = V^{-\frac{n}{m}}$$

γ: 粒子群とその粒子徑の大なる次の粒子群との容積比　V: 空隙率

n: 粒子群の數より 1 を減じたるもの　m: 粒子徑の比 2 の粒子群の數

(7) ウェイマウス (Weymouth) 氏

$$d_a = \frac{d_0}{\left(\frac{D_1+2C+D_n}{D_n}\right)^{\frac{1}{3}}}$$

d_a: 小徑の粒子群の絶對容積　d_0: 大徑の粒子群の絶對容積

D_1: 小徑の粒子群の平均徑　D_n: 大徑の粒子群の平均徑

(8) ロスフックス (Rothfuchs) 氏

$$p = \frac{\sqrt{d}-\sqrt{d_0}}{\sqrt{D}-\sqrt{d_0}} \times 100$$

p: 孔徑 d 篩を通過する量 %　D: 骨材の最大粒徑　d_0: 骨材の最小粒徑

骨材の最大密度の試驗は從來 matrix 又は結合材を加へたものに就て行つたものが多いが骨材の粒子群の配合によりてその最大密度の條件を求め，結合材としてコンクリートの場合にセメント，瀝青混合物の場合の瀝青，水締マカダムの場合の石粉ペースト等の matrix の性質特にその粘性又は塑性に應じて粒子群の最小粒徑の粒子群を骨材より除き，之に代りて matrix を加ふるは骨材を主體とする混合物の設計の基本である.

III. 骨材の最大密度の測定方法

骨材は手篩法により大さを異にする粒子群に篩分けたるものをとり，最大密度を有する粒子群の配合を定むるには，細骨材の場合は，先づ篩 No. 200～No. 100 の粒子群をとりて之に篩 No. 100～No. 80 の粒子群を前者の重量 10%，20%，30% と順次に混合し，その都度空隙率を測定し，空隙率が混合割合の增加に伴ひ次第に減少して一定限度に達して最小空隙率を表はし，更に混合量を增加すれば却つて次第に空隙率が增大するに至る迄之を續け，その最小空隙率の値とその場合の粒子群の配合割合を定めた.

次に此二個の粒子群の混合より成る最小空隙の場合の篩 No. 200～No. 80 の粒子群に更に篩 No. 80～No. 50 の粒子群を前回同様に前者の 10％ 宛増加せしめつゝ混合し，前回同様にして最小空隙率を有する場合の篩 No. 200～No. 80 の粒子群と No. 80～No. 50 の粒子群の配合割合を決定し，以下之に依つて篩 No. 50～No. 40, No. 40～No. 30, No. 30～No. 20 を混加しつゝ最小空隙率の狀態に於ける粒子群の配合比を決定した．

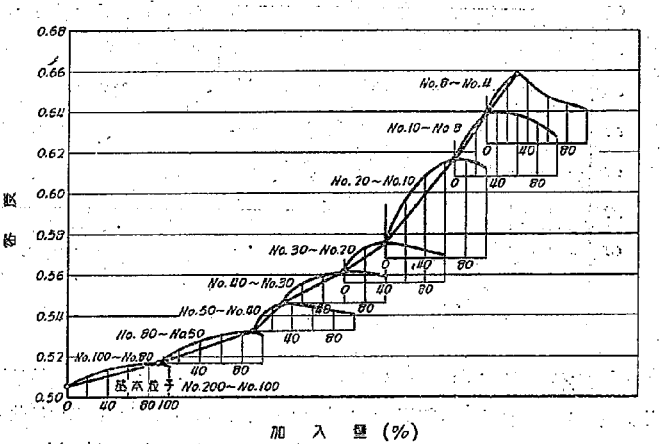
空隙の測定は粗及び細骨材共に本所報告 No. 27「道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て」に於て述べたるものと同様の裝置を用ひ，裝入はフローテーブル臺に於てその落下數 20 回，30 回，50 回として行ひ，試驗は各 3 回の平均値をとつた．

粗骨材の場合も同様に，先づ篩徑 4.76～6.35 mm の粒子群を基本とし之に徑 6.35～12.70 mm のものをその 10％，20％ と順次 10％ 宛混加してその都度密度を測定し，最大密度の場合の配合を求め，此配合の粒子群 4.76～12.70 mm のものを基として更に徑 12.70～19.05 mm のものを同様に混加して之等の最大密度の配合比を求め，以下之に倣つて徑 31.75～38.10 mm のもの迄を混合して全粒子群の最大密度の配合を求めた．

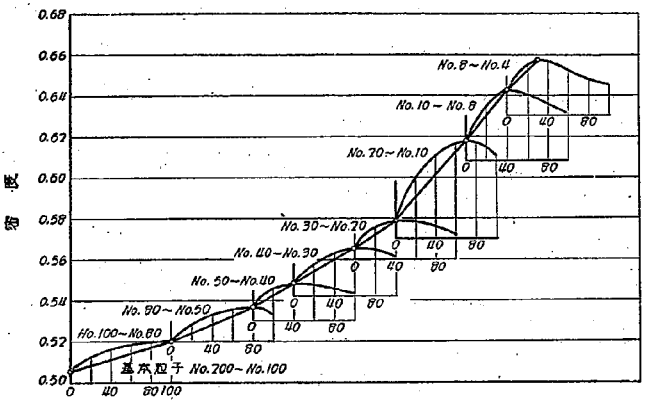
IV. 細骨材の最大密度の粒度

[1] 砂の最大密度の粒度

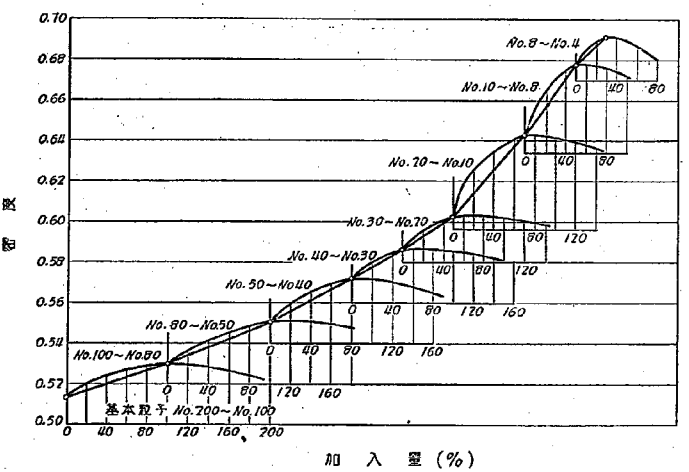
砂に就てフローテーブル落下數 20, 30, 50 回の各場合における各粒子群の配合と密度との關係を圖示すれば第 1 圖～第 3 圖の如し．



第 1 圖　砂の最大密度曲線（フローテーブル20回）



第 2 圖 砂の最大密度曲線(フローテーブル30回)



第 3 圖 落下數 50 回の場合

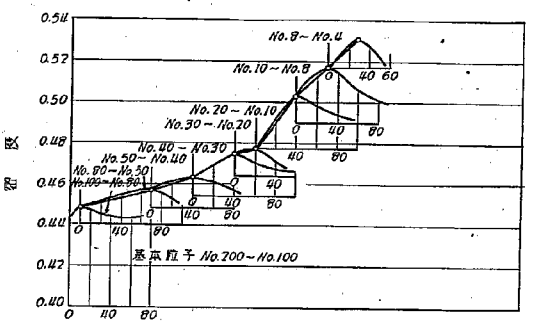
圖において各粒度の最大密度を示す點をつらねた曲線は凹形をなし，一見粒子粗なるものに到るに從つて少量を加へて急激に密度が增加するやうに見えるが，これは此の圖に示される % はそれが加へられる直前の總量の % であるので，同じ 10% でも No. 100～No. 80 の場合と No. 8～No. 4 の場合では，後者がはるかに量において多いのであるか

ら，直ちにこの曲線から結論を下すわけにはゆかない．此の問題は後に混合材總量の％に換算して最大密度を示す場合の配合狀態を圖示した第 7 圖で論ずる．

たゞ此の實驗結果よりフローテーブル落下回數 20 の場合より 30 回の場合は粗粒子のもの多くなるが，50 回の場合は 30 回の場合と大差なく之は 30 回と 50 回では裝入仕事量を增しても密度に影響することが少く，30 回の場合で殆ど定常の狀態に達することを示して居る．

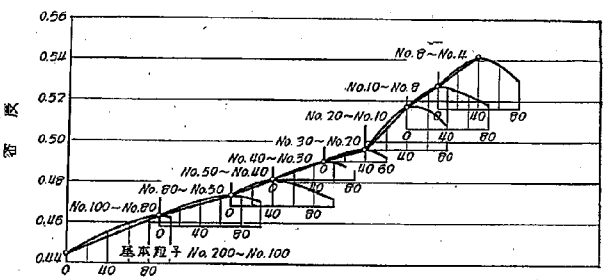
［2］ 碎石屑の最大密度の粒度

碎石屑の場合も砂と同樣のことが云はれ，たゞその形狀示數の比が砂に比し約 1.20% 大であるから密度が小である．フローテーブル落下數，20，30，50 の各場合における粒子群の配合と密度との關係は第 4 圖～第 6 圖に示す如し．



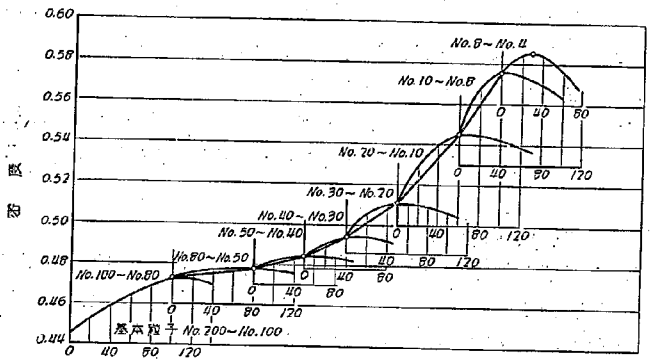
加　入　量（%）

第 4 圖　碎石屑（フローテーブル20回）



加　入　量（%）

第 5 圖（碎石屑フローテーブル30回）



第 6 圖 碎石屑(フローテーブル50回)

[3] 最大密度の實驗式

實驗結果より砂及び碎石屑の最大密度を示す場合の粒度と篩分及び殘留累計を表に示すと，第3表～第5表 の如くなる．第6表 はこれを通過量になほしたもので第7圖，第 8 圖はこれを圖示したものである．

第 3 表 砂及碎石屑の最大密度の粒度

フローテーブル落下 20 回

粒度 (篩番號)	砂		碎石屑	
	篩分 (%)	殘留累計 (%)	篩分 (%)	殘留累計 (%)
No. 4~No. 8	23.08	23.08	23.08	23.08
No. 8~No. 10	17.75	40.84	17.75	40.83
No. 10~No. 20	24.38	65.21	16.91	57.74
No. 20~No. 30	9.94	75.15	7.05	64.79
No. 30~No. 40	9.32	84.47	10.06	74.85
No. 40~No. 50	3.58	88.05	7.19	82.04
No. 50~No. 80	5.65	93.70	7.40	89.44
No. 80~No.100	3.00	96.70	5.53	94.97
No.100~No.200	3.30	100.00	5.03	100.00

今最小自乘法を用ひて，最大密度を示す場合の粒子寸法と通過量との關係を示す實驗式を作る．此の實驗式の原式として次の二つの式を用ひて見る．

第 4 表　砂及碎石屑の最大密度の粒度　フローテーブル落下 30 回

粒度（篩番號）	砂		碎石屑	
	篩分（%）	殘留累計（%）	篩分（%）	殘留累計（%）
No. 4～No. 8	28.57	28.57	28.57	28.57
No. 8～No. 10	20.41	48.98	16.50	45.07
No. 10～No. 20	21.01	69.99	15.70	60.77
No. 20～No. 30	8.57	78.56	11.21	71.98
No. 30～No. 40	8.04	86.60	9.34	81.32
No. 40～No. 50	3.83	90.43	5.34	86.65
No. 50～No. 80	4.25	94.68	5.49	92.15
No. 80～No.100	2.66	97.34	3.72	95.87
No.100～No.200	2.66	100.00	4.13	100.00

第 5 表　砂及碎石屑の最大密度の粒度　フローテーブル落下 50 回

粒度（篩番號）	砂		碎石屑	
	篩分（%）	殘留累計（%）	篩分（%）	殘留累計（%）
No. 4～No. 8	23.08	23.08	20.00	20.00
No. 8～No. 10	24.76	47.84	21.82	41.82
No. 10～No. 20	21.47	69.31	21.82	63.64
No. 20～No. 30	10.23	79.54	12.12	75.76
No. 30～No. 40	6.81	86.35	6.93	82.69
No. 40～No. 50	6.05	92.40	5.78	88.47
No. 50～No. 80	3.80	96.20	5.13	93.60
No. 80～No.100	1.90	98.10	3.35	96.95
No.100～No.200	1.90	100.00	3.05	100.00

第 6 表

	砂通過量			碎石屑通過量		
	20	30	50	20	30	50
No. 4～No. 8	76.92	71.43	76.92	76.92	71.43	80.00
No. 8～No. 10	59.17	51.02	52.16	59.17	54.93	58.18
No. 10～No. 20	34.79	30.01	30.69	42.26	39.23	36.36
No. 20～No. 30	24.85	21.44	20.46	35.21	28.02	24.24
No. 30～No. 40	15.53	13.40	13.65	25.15	18.68	17.31
No. 40～No. 50	11.95	9.57	7.60	17.96	13.34	11.53
No. 50～No. 80	6.30	5.32	3.80	10.56	7.85	6.40
No. 80～No.100	3.30	2.66	1.90	5.03	4.13	3.05
No.100～No.200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

a) $p=A\left(\frac{d}{D}\right)^n$ b) $p=A\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^n$

p： 篩 d^{mm} を通過する量 % d： p% 通過する篩目の徑 mm

A,n： 常數 d_0： 使用骨材の最小粒徑 mm D： 使用骨材の最大粒徑

a) 式は最大 D より 0 なる粒度にいたる骨材を配合して最大密度を得んとするときの曲線がどうなるかを求めやうとするので本實驗ではその一部を行つて全體を推察しやうと云ふのである.

b) 式は最大 D より最小 d_0 にいたる骨材を配合する場合を考へるので, 實際の實驗に用ひられた d_0 を用ひ, 理論的に $d_0=0$ になるまでの一部を考へないことが a) と異る.

次に得たる式を列擧すると次の如し.

a) 式の場合

砂	落下數 20 回	$p=137.1\left(\frac{d}{D}\right)^{0.934}$
	〃 30 回	$p=131.1\left(\frac{d}{D}\right)^{0.988}$
	〃 50 回	$p=148.4\left(\frac{d}{D}\right)^{1.099}$
碎石屑	落下數 20 回	$p=129.2\left(\frac{d}{D}\right)^{0.770}$
	〃 30 回	$p=127.7\left(\frac{d}{D}\right)^{0.853}$
	〃 50 回	$p=154.3\left(\frac{d}{D}\right)^{0.982}$

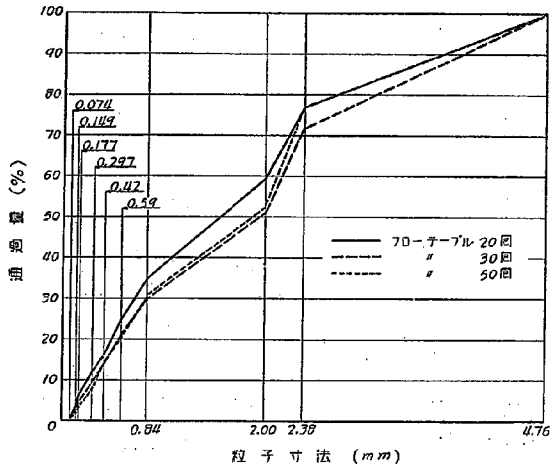
フローテーブルの落下回數の增加に伴ひ, 卽ち裝入仕事量の增大に依つて密裝となり, 指係數は次第に 1 に近づくから此式は直線式であらうことが想像される.

碎石屑の場合はフローテーブル落下による裝入は不充分であり, 實際の場合は輾壓その他の壓縮により稜角が破壞され粒度が異つて密裝となるものと考へられる.

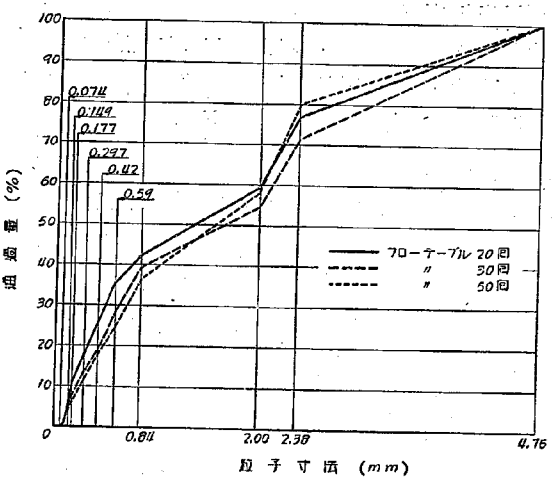
天然砂と碎石屑とに就て實驗式の指數を比較するとフローテーブル落下回數 20 の場合各 0.934 と 0.770 でその比 1.22 を示し, 30 回の場合は 0.853 と 0.988 でその比 1.16 を示し, 之をその粒子形狀の示數の比と比較すると細長率の比 1.224, 扁平率の比 1.220 と似た値を示して居る. 此所に得た式を直線式として近似的に簡單化すると

$p=+140\left(\frac{d}{D}\right)$ p： 粒徑 d 篩を通過する量 %

と表してよいであらう.


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
通過量（%）
0.074
0.149
0.177
0.297
0.42
0.59
0.84
2.00
2.38
4.76
フローテーブル 20回
〃 30回
〃 50回
粒子寸法（mm）

第　7　圖


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
通過量（%）
0.074
0.149
0.177
0.297
0.42
0.59
0.84
2.00
2.38
4.76
フローテーブル 20回
〃 30回
〃 50回
粒子寸法（mm）

第　8　圖

b) 式の場合

砂　落下數 20 回　$p=127.8\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.806}$

〃　30 回　$p=121.1\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.648}$

〃　50 回　$p=135.8\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.943}$

碎石屑　落下數 20 回　$p=122.9\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.565}$

〃　30 回　$p=119.7\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.836}$

〃　50 回　$p=131.4\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.816}$

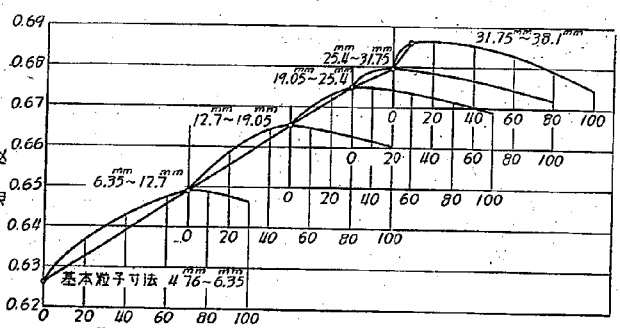
細骨材の場合は一般に粒子が小さいため $(d-d_0)$ の意味がはつきりあらはれず，a) 式の場合と大差ない結果に終つた．これは粗骨材の場合には相當はつきりと $(d-d_0)$ の意味が表れて來て居る．

V. 粗骨材の最大密度の粒度

[1] 砂利の最大密度の粒度

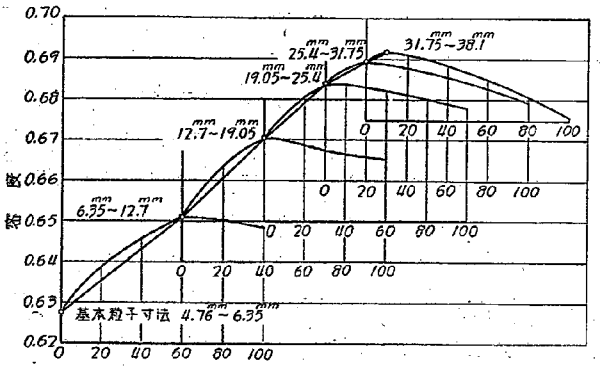
細骨材の實驗結果よりフローテーブル落下數 20 回は裝入箱不充分で，30 回で大體定常狀態になることを經驗したので粗骨材の場合は落下數 30，50 の二種を採用した．

砂利について各場合の粒子群の配合と密度との關係を圖示すれば第9圖及第10圖の如し．



加　入　量 (%)

第　9　圖



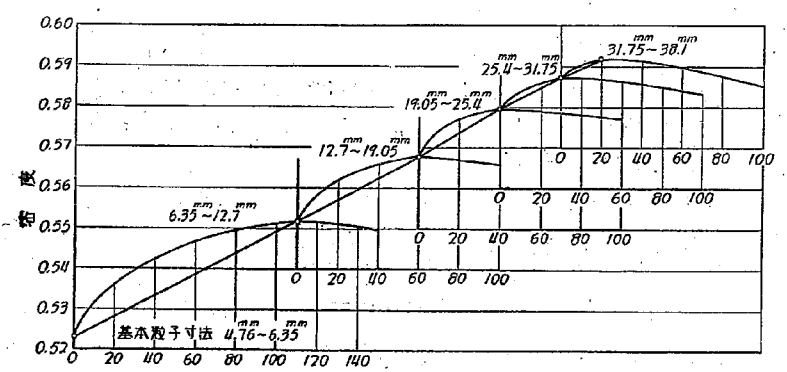
第 10 圖

細骨材の場合に比し曲線の連續性を增加して居るが，これは粒子が大になつて居るため篩分け其他の實驗操作が容易且つ精密になつて來たためと考へられる．

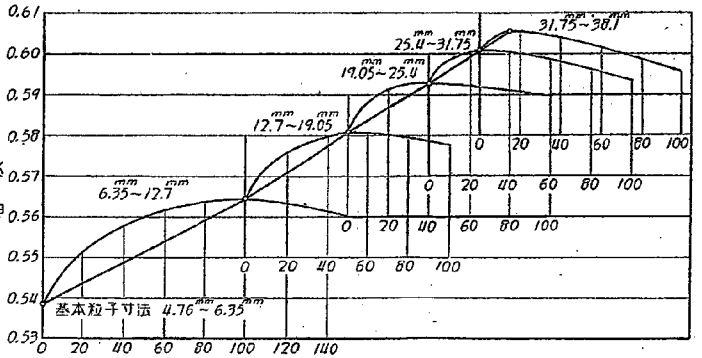
［2］ 碎石の最大密度の粒度

碎石と砂利との場合も碎石屑と砂との場合と同樣形狀示數の關係より碎石の方が砂利より密度が小になつて居る．

フローテーブル落下回數 30，50 回の各場合における粒子群の配合と密度との關係は第11圖 及第12圖 に示す如し．



第 11 圖



第　12　圖

[3] 最大密度の實驗式

實驗結果より砂利及び砕石の最大密度を示す場合の粒度と篩分及び殘留累計を表に示すと第7表及第8表の如くなる．第9表はこれを通過量になほしたもので第13圖及第14圖はこれを圖示したものである．細骨材の場合と同樣二つの式を原式として最小自乘法を用ひて實驗式を導いて見やう．二つの原式を再記して見ると

a)　$p=A\left(\frac{d}{D}\right)^n$

b)　$p=A\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^n$

p：篩 d^{mm} を通過する量 %　　d：p% 通過する篩目の徑 mm

A, n：常數　　d_0：使用骨材の最小粒徑 mm

D：使用骨材の最大粒徑

a) 式の場合

砂利　落下數 30 回　$p=103.7\left(\frac{d}{D}\right)^{0.852}$

〃　50 回　$p=101.6\left(\frac{d}{D}\right)^{0.774}$

砕石　落下數 30 回　$p=101.6\left(\frac{d}{D}\right)^{1.193}$

〃　50 回　$p=102.6\left(\frac{d}{D}\right)^{1.029}$

第 7 表　砂利の最大密度の粒度

粒子寸法 (mm)	粒子寸法より算出		フローテーブル30回		フローテーブル50回		比重
	粒度 (%)	残留量 (%)	粒度 (%)	残留量 (%)	粒度 (%)	残留量 (%)	
38.10 ～ 31.75	13.47	13.47	9.10	9.10	9.10	9.10	2.58
31.75 ～ 25.40	14.91	28.38	15.15	24.25	15.15	24.25	2.56
25.40 ～ 19.05	16.92	45.30	17.48	41.73	17.48	41.73	2.57
19.05 ～ 12.70	20.07	65.37	19.43	61.16	16.65	58.38	2.56
12.70 ～ 6.35	26.15	91.52	15.99	77.15	15.61	73.99	2.56
6.35 ～ 4.76	8.48	100.00	22.85	100.00	26.01	100.00	2.55
粒度示数		3.44		3.13		3.07	

第 8 表　砕石の最大密度の粒度

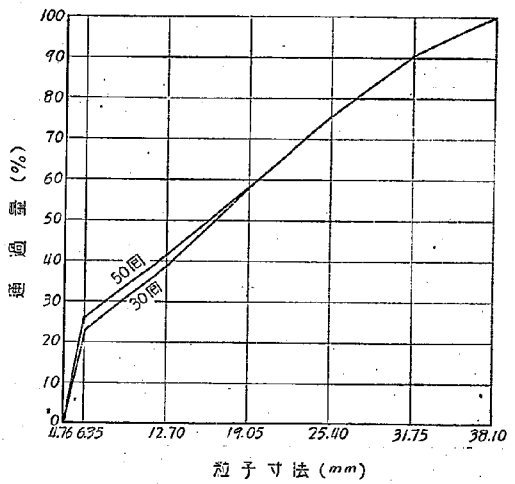
粒子寸法 (mm)	粒子寸法より算出		フローテーブル30回		フローテーブル50回		比重
	粒度 (%)	残留量 (%)	粒度 (%)	残留量 (%)	粒度 (%)	残留量 (%)	
38.10 ～ 31.75	13.47	13.47	16.67	16.67	13.04	13.04	2.58
31.75 ～ 25.40	14.91	28.38	19.23	35.90	17.39	30.43	2.58
25.40 ～ 19.05	16.92	45.30	18.32	54.22	19.87	50.30	2.59
19.05 ～ 12.70	20.07	65.37	17.17	71.39	16.57	66.87	2.61
12.70 ～ 6.35	20.15	91.52	14.99	86.38	16.57	83.44	2.61
6.35 ～ 4.76	8.48	100.00	13.62	100.00	16.56	100.00	2.60
粒度示数		3.44		3.65		3.44	

第 9 表

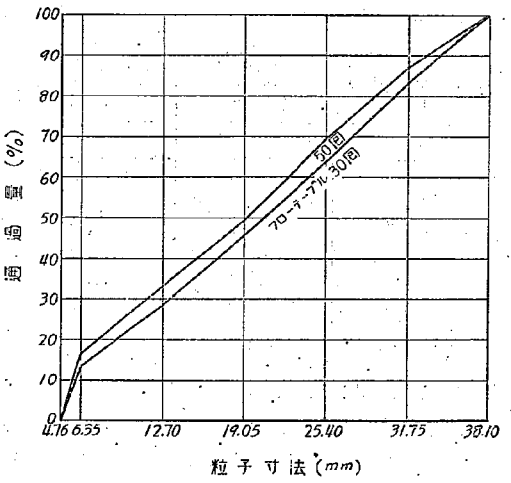
	砂利通過量		砕石通過量	
	30	50	30	50
38.10 ～ 31.75	90.90	90.90	83.33	86.96
31.75 ～ 25.40	75.75	75.75	64.10	69.57
25.40 ～ 19.05	58.27	58.27	45.78	49.70
19.05 ～ 12.70	38.84	41.62	28.61	33.13
12.70 ～ 6.35	22.85	26.01	13.62	16.56
6.35 ～ 4.76	0.00	0.00	0.00	0.00

以上の如く粗骨材の場合も大體直線式になることが想像される．

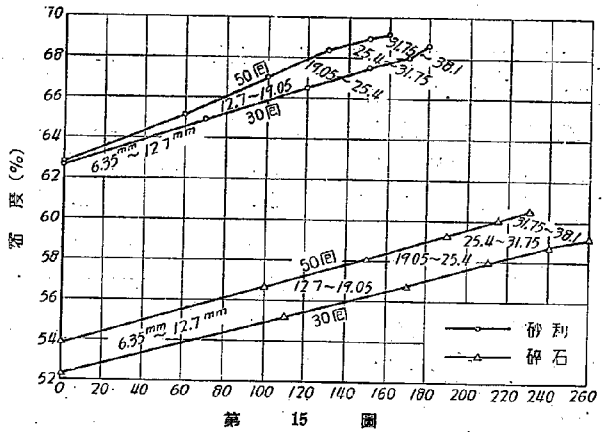
細骨材の場合は，實驗式の指數が砕石屑より砂の方が1に近い値を示して居たのに反し粗骨材の場合は砂利より砕石の方が1に近い値を示して居る．これは細骨材の場合は粒子の揃ひは略ゝ兩者大差なく，砕石屑の稜角が實驗にきいて來て居り，粗骨材の場合は砕石の稜角より，砂利の形狀不均一が大きくきいて居るため，形狀の均一性の多い砕石の方が1に近い値を示して居ると考へられる．


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
通過重量（%）
50回
30回
11.76
6.35
12.70
19.05
25.40
31.75
38.10
粒子寸法（mm）

第 13 圖


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
通過重量（%）
50回
フローティル 30回
11.76
6.35
12.70
19.05
25.40
31.75
38.10
粒子寸法（mm）

第 14 圖



第 15 圖

此所に得た式を直線式として近似的に簡單化すると

$$p=100\left(\frac{d}{D}\right)$$

p： 粒徑 d 篩を通過する量 %

と表して良いであらう.

b) 式の場合

砂利	落下數 30 回	$p=100.8\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.496}$
	〃 50 回	$p=98.8\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.440}$
砕石	落下數 30 回	$p=96.8\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.654}$
	〃 50 回	$p=87.8\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.533}$

卽ち大體，抛物線式を作る．近似的に簡單化すると

$$p=100\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{\frac{1}{2}}$$

となり，フラーの實驗式 $p=100\sqrt{\frac{d}{D}}$ と同一の形を示す.

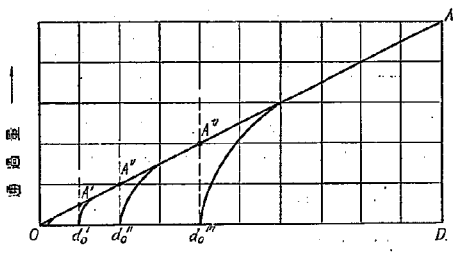
VI. 試驗結果の要約

（1） 骨材は裝入の仕事量に應じて密度を異にするから最大密度の粒子群の割合も裝入仕事により異り，裝入仕事量が大で密裝の狀態に近似するに從ひ粗粒分子の割合が大と

なる.

(2)　装入狀態に對しては細骨材の場合は粒子の稜角がこれを支配し，粗骨材の場合は粒子の稜角以上に形狀の均一性が影響して來る.

(3)　本實驗においては，二種の場合即ち一つは最小 d_0 から最大 D までの粒子がある場合 d_0 より 更に小なる粒子の入ることを想像しての曲線が如何になるかを d_0—D 間において計算した場合であり，他は d_0—D の間だけ考へ d_0 以下の微小粒子を想像しない場合である. この二つを圖で說明せんに，第 16 圖 において，第一の場合は d_0—D 間において d_0 が d_0' d_0'' d_0''' …に對して A'—B, A''—B, A'''—B なる曲線を直線 OB の一部分として計算したものであり，第二の場合は d_0''—D ならその間だけで d_0''—A'''—B と云ふ曲線を求めた事になるのである.



第　16　圖

(4)　細骨材の最大密度の粒度は第一の場合に就て次のやうになる.

砂	フローテーブル落下回數	20 回	$p=137.1\left(\frac{d}{D}\right)^{0.934}$
	〃	30 回	$p=131.1\left(\frac{d}{D}\right)^{0.988}$
	〃	50 回	$p=148.4\left(\frac{d}{D}\right)^{1.099}$
碎石屑	フローテーブル落下回數	20 回	$p=129.2\left(\frac{d}{D}\right)^{0.770}$
	〃	30 回	$p=127.7\left(\frac{d}{D}\right)^{0.853}$
	〃	50 回	$p=154.4\left(\frac{d}{D}\right)^{0.983}$

第二の場合については，細骨材では粒子が小であつて，第16圖のハツチせる如き部分を論ずるため第一の場合と大差ないのは當然で次のやうになる.

砂	フローテーブル落下回數	20 回	$p=127.8\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.806}$
	〃	30 回	$p=121.1\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.848}$

	〃	50 回	$p=135.8\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.943}$
砕石屑	フローテーブル落下回数	20 回	$p=122.9\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.365}$
	〃	30 回	$p=119.7\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.836}$
	〃	50 回	$p=131.7\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.816}$

（5） 粗骨材の最大密度の粒度は第一の場合について次のやうになる.

砂利	フローテーブル落下回数	30 回	$p=103.7\left(\frac{d}{D}\right)^{0.852}$
	〃	50 回	$p=101.6\left(\frac{d}{D}\right)^{0.774}$
砕石	フローテーブル落下回数	30 回	$p=101.6\left(\frac{d}{D}\right)^{1.152}$
	フローテーブル落下回数	50 回	$p=102.6\left(\frac{d}{D}\right)^{1.020}$

第二の場合については

砂利	フローテーブル落下回数	30 回	$p=100.8\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.498}$
	〃	50 回	$p=98.8\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.449}$
砕石	フローテーブル落下回数	30 回	$p=96.8\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.554}$
	〃	50 回	$p=87.8\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{0.536}$

（6） 4), 5) より考察するに，第一の場合は直線式で表され，近似的には細骨材に對しては　$p=140\left(\frac{d}{D}\right)$

粗骨材に對しては　$p=100\left(\frac{d}{D}\right)$

となり，第16圖の OB 直線の式としては　$p=120\left(\frac{d}{D}\right)$

が想像される.

第二の場合については，その意味の上から細骨材は問題とならず，粗骨材について

$$p=100\left(\frac{d-d_0}{D}\right)^{\frac{1}{2}}$$

として表され，フラーが一般式として提出した式がこれと同一の形を示して居る．

從來各國できめられたコンクリート示方書において骨材の粒度に關する部分は，次に列擧する如く，きはめて漠然たるものである．

1) 土木學會

第4章第2節第9條に「細骨材は第1表の範圍内において細粗粒適度に混合せるものを標準とすべし」とあり，同第3節第13條に「粗骨材は第2表の範圍内において細粗粒適度に混合せるものを標準とすべし」とある．

2) 建築學會

第3章第2節第7條に「砂は第1表の範圍内に於て細粗粒が適度に混合せるものとす」とあり，同第3節第11條に「砂利は第2表の範圍内に於て細粗粒適度に混合せるものとす」と云ふ．

3) 内務省土木局

これは道路用のコンクリートであるが矢張り「粒度は下記標準により粗細適度に混合せるものたるべし」と言ふ言葉を用ひて居る．

4) British Standard Specifications 1936

"The fine aggregate should consist of well graded particles, all of which pass through a……."

"The coarse aggregate should be similarly graded from ……"

5) Specifications for Concrete, Plain and Reinforced, 1927, American R.E.A.

"Fine aggregate shall range in size from fine to coarse within the limits indicated below……"

"Coarse aggregate shall grade in size from fine to coarse, preferably within the following percentages……"

6) Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Eisenbeton

"Sand, Kies, Steingrus oder Spilitt und zerkleinerte Hochofenstückschlacke sollen möglichst gemischtkörnig zusammengesetzt sein……"

これらの細粗粒混合の程度を表すのにすべて概念的で數理的の意味がない．

これを本試驗の範圍においては理想的な骨材の粒子混合狀態は粒度とその百分率とは直線的關係に從ふものなりとの結論を得た．從つてこれら規格の解說的說明には次の如く言ひ表すべきものと考へる．

「細粗粒適度に混合せる……の意味は，粒度とそれの%とが直線式に從ふものをよしとする意味である」

土の乾燥に伴ふ壓縮强さの變化

內務技師　山　田　元

目　次

緒　言……(1)
I. 試驗方法……(1)
II. 試驗結果……(2)

緒　言

土が乾燥すれば其支持力を增大することは明白な事實であり，當初所定の含水率を有するもの>氣乾狀態の程度に於ける乾燥前後の支持力，其製作壓力との關係等に就ては，曩に「土砂の安定强度試驗[1]」中に各種の含水率に對して一部の結果を報告したが，M. Freyssinet の所謂 Pseud-Solide と看做すべき斯種材料にあつては，同一含水率のものでも該含水率に到達する經過に於て事情を異にするものに就ては其支持力が必ずしも等しいと斷定し得ざることは想像するに難くないのである．本報告は此見地から，製作當初一定の含水率を有したものが乾燥によつて其一部の含水量を失ふと共に其支持力を如何に增加するか，最大の支持力を與ふる含水率は幾何であるか，急激に支持力を增減する含水率の限界如何等の點に就て一例を東京山手赤土に採り實驗考察せるものである．

I. 試　驗　方　法

試驗は直徑 102 mm，高さ約 83 mm の圓柱形に加壓成形せる供試體にアムスラー型 60 噸試驗機を以て加壓し其最大壓縮强さを算定せるものにして，試驗に際し加壓面を供試體上面より大ならしめたる外試驗方法，供試體の材料，製作方法等は前記報告の場合と同樣である．

製作の際の含水率は 70％（土乾燥重量の）を標準とし，豫め粉碎して置いた土に注水し鐵板上で充分攪拌し平均含水率測定の結果，標準に對する誤差（±）2％以內のものを用ひた．製作壓力は 10，30 及 50 kg/cm² の 3 種とし，含水率の標準は 70，50，30，20 及 10％ の 5 種とし，30％ までは常溫の室內に放置し，20％ までは電熱にて溫めた室內にて，又 10％ のものは電氣乾燥器中にて乾燥した．試驗は昭和 11 年 3 月乃至 11 月に亘り施行し，試驗結果は 3 個の結果に據つて考察した．

1) 土木試驗所報告第三十一號

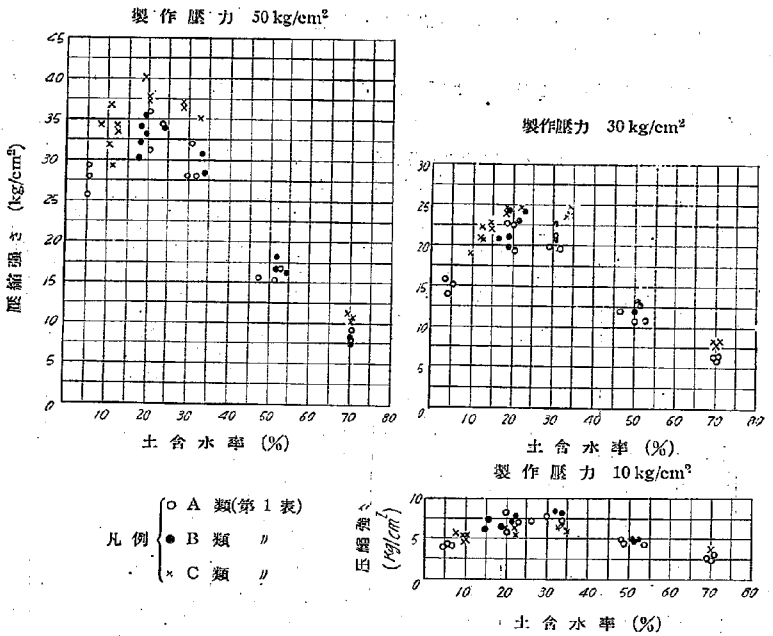
II. 試驗結果

試驗結果を一括すれば第1表，第1圖及第2圖に示すが如くである．標準含水率同一なるものも試驗時含水率を異にし，且製作方法，試驗方法等に幾分の相違を免れざるが故に必ずしも同一の壓縮强さを示さず．從つて精密なる結論を下すは困難であるが，之等の結果より東京山手赤土が初め約 70 % の含水率を有せし時，10 kg/cm² 乃至 50 kg/cm² の範圍内に於て加壓成形せられたる後除々に乾燥せる時に於ける壓縮强さの變化を要約すれば次の如くである．

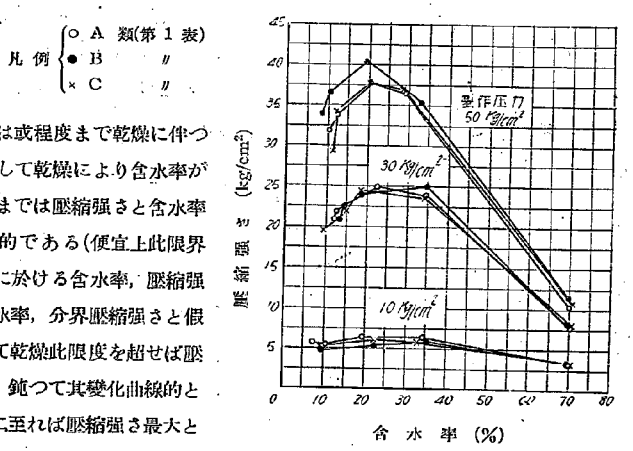
第 1 表　土の乾燥に伴ふ壓縮試驗の結果

試驗時含水率は試片重量より算定せるもの

製作壓力 kg/cm²	種類	製作 月日	製作 水分 %	標準含水率 70 % 試驗 月日	標準含水率 70 % 試驗時含水率 (%)	標準含水率 70 % 最大壓縮强さ (kg/cm²)	標準含水率 50 % 試驗 月日	標準含水率 50 % 試驗時含水率 (%)	標準含水率 50 % 最大壓縮强さ (kg/cm²)	標準含水率 30 % 試驗 月日	標準含水率 30 % 試驗時含水率 (%)	標準含水率 30 % 最大壓縮强さ (kg/cm²)	標準含水率 20 % 試驗 月日	標準含水率 20 % 試驗時含水率 (%)	標準含水率 20 % 最大壓縮强さ (kg/cm²)	標準含水率 10 % 試驗 月日	標準含水率 10 % 試驗時含水率 (%)	標準含水率 10 % 最大壓縮强さ (kg/cm²)	標準含水率外の試驗 試驗 月日	標準含水率外の試驗 試驗時含水率 (%)	標準含水率外の試驗 最大壓縮强さ (kg/cm²)
50	A	3 16	70.7	3 16	70.7	9.13	3 20	50.0	15.41	3 31	30.2	32.07	5 13	20.7	31.03	7 31	8.2	29.23			
		〃 18	70.1	〃 18	70.1	7.28	〃 24	48.0	16.77	〃 〃	30.0	28.00	5 8	19.9	34.04				7 31	4.8	25.66
		〃 19	69.1	〃 19	69.1	8.08	〃 25	50.0	15.17	〃 〃	31.2	27.38	〃 〃	20.4	35.77				〃 〃	4.4	28.00
	A平均					8.16			15.78			29.31			33.63						26.83
	B	4 2	70.1	4 2	70.1	7.52	4 7	49.5	16.52	4 17	29.7	30.84	5 9	19.3	33.92				7 28	17.4	32.07
		〃 4	70.0	〃 4	70.0	7.52	〃 8	50.2	16.03	〃 18	30.3	28.37	〃 〃	19.6	35.40				〃 〃	17.4	33.18
		〃 7		〃 7	69.8	7.65	〃 14	49.7	18.13				〃 〃	20.0	34.17				〃 〃	17.5	30.22
	B平均					7.56			15.89			29.60			34.49						31.82
	C	7 4	70.1	7 4	70.1	10.48				7 20	29.2	36.51	10 7	19.7	37.74	11 9	8.5	31.82	11 14	12.6	33.80
		〃 7	69.5	〃 7	69.5	11.35				〃 21	30.1	35.15	〃 〃	19.5	40.21	〃 〃	9.7	34.29	〃 16	12.9	36.68
		〃 〃	70.9	〃 〃	70.9	10.93				〃 〃	30.0	37.00	〃 〃	19.7	37.74	〃 11	9.7	29.36	〃 13	13.5	34.25
	C平均					10.92						36.22			38.56			31.82			34.23
	平均					8.88			16.34			31.71			35.56						
30	A	3 16	70.7	3 16	70.7	6.29	3 23	45.6	11.84	3 31	29.9	21.21	5 13	20.3	19.24				7 31	6.8	13.81
		〃 18	70.1	〃 18	70.1	5.80	〃 24	51.0	10.73	〃 〃	31.1	19.61	〃 8	19.5	22.81				〃 〃	3.8	15.17
		〃 19	69.1	〃 19	69.1	6.04	〃 25	50.6	11.10	4 1	30.0	19.98	〃 〃	19.5	22.69				〃 〃	2.7	15.04
	A平均					6.04			11.22			20.27			21.58						14.67
	B	4 2	70.1	4 2	70.1	5.80	4 7	50.2	11.47	4 17	30.0	22.69	5 9	19.4	24.29				7 28	17.3	20.59
		〃 4	70.0	〃 4	70.0	5.92	〃 8	50.0	11.84	〃 18	30.1	20.96	〃 〃	19.4	24.59				〃 〃	16.9	20.96
		〃 7	69.8	〃 7	69.8	5.92	〃 14	47.8	13.19	〃 22	30.9	20.84	〃 〃	19.7	22.57				〃 〃	17.8	19.36
	B平均					5.88			12.17			21.49			23.82						20.30
	C	7 4	70.1	7 4	70.1	7.65				7 20	29.0	23.68	10 7	19.9	24.54	11 9	9.3	20.96	11 14	12.9	22.07
		〃 7	69.5	〃 7	69.5	8.26				〃 〃	30.6	24.79	〃 〃	18.3	23.92	〃 〃	10.6	20.72	〃 17	12.5	22.57
		〃 〃	70.9	〃 〃	70.9	8.14				〃 〃	30.7	23.55	〃 〃	19.7	24.42	〃 11	7.8	18.96	〃 13	13.2	21.95
	C平均					8.02						24.01			24.29			20.21			22.19
	平均					6.65			11.69			21.93			23.23						
10	A	3 16	70.7	3 16	70.7	2.59	3 20	49.7	4.19	3 31	29.4	7.15	5 13	20.2	5.67				7 31	6.9	3.95
		〃 18	70.1	〃 18	70.1	2.34	〃 24	48.9	4.32	3 31	29.2	7.28	〃 8	19.2	7.03				〃 〃	3.5	4.19
		〃 19	69.1	〃 19	69.1	2.47	〃 25	49.1	4.44	〃 〃	29.7	7.63	〃 13	19.1	7.65				〃 〃	2.7	4.07
	A平均					2.47			4.32			7.36			6.78						4.07
	B	4 2	70.1	4 2	70.1	2.47	4 7	49.3	4.69	4 17	32.3	8.14	5 9	18.8	8.14				7 28	17.8	7.25
		〃 4	70.0	〃 4	70.0	2.47	〃 7	50.6	4.56	〃 〃	30.0	8.02	〃 〃	18.9	7.89				〃 〃	17.1	6.29
		〃 7	69.8	〃 7	69.8	2.47	〃 14	49.4	4.93	〃 22	30.6	7.40	〃 〃	19.5	7.15				〃 〃	17.8	6.41
	B平均					2.47			4.73			7.85			7.73						6.66
	C	7 4	70.1	7 4	70.1	3.08				7 20	29.6	6.54	10 7	20.2	6.29	11 9	10.0	5.43	11 11	7.9	5.67
		〃 7	69.5	〃 7	69.5	3.08				〃 〃	30.6	5.80	〃 〃	20.1	5.43	〃 〃	10.2	4.56	〃 〃	7.7	4.56
		〃 〃	70.9	〃 〃	70.9	3.08				〃 〃	30.2	6.41	〃 〃	18.8	6.17	〃 11	9.7	5.18	〃 〃	7.4	5.18
	C平均					3.08						6.25			5.96			5.06			5.14
	平均					2.67			4.52			7.15			6.82						



第 1 圖　土の乾燥に伴ふ壓縮强さの變化



第 2 圖　平均壓縮强さの變化

(1) 壓縮强さは或程度まで乾燥に伴つて增加する．而して乾燥により含水率が或限界に達するまでは壓縮强さと含水率との關係は直線的である(便宜上此限界を分界點，此點に於ける含水率，壓縮强さを夫々分界含水率，分界壓縮强さと假稱する)．而して乾燥此限度を超せば壓縮强さの增勢稍々鈍つて其變化曲線的となり，或含水率に至れば壓縮强さ最大となり(此限界を限界點，此點に於ける含水

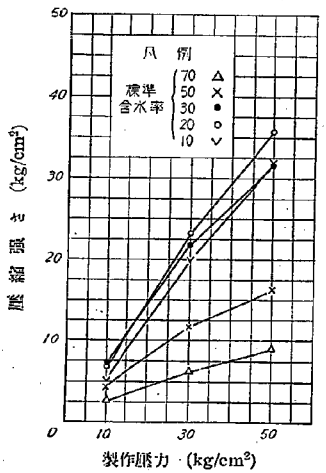
率，壓縮强さを失ふ限界含水率，限界壓縮强さと便宜假稱する)，更に乾燥すれば壓縮强さは曲線的に漸減する．

(2) 壓縮强さ（乾濕共），其乾燥に伴ふ變化の趨勢等に對する製作壓力の影響は極めて顯著である．

第 2 表　壓縮强さの製作壓力及含水率に據る比較

（ ）内の値を標準として算定す

製作壓力 Po kg/cm²	別	標準含水率 70 % Po=50 に對する %	標準含水率 70 % 含水率の最大壓力同種中 %	標準含水率 70 % 最大强さに對する强さを與へる標準 %	標準含水率 50 % Po=50 に對する %	標準含水率 50 % 含水率の最大壓力同種中 %	標準含水率 50 % 含水率の最大强さを與へる强さに對する標準 %	標準含水率 50 % 强さに對する含水率 70 % の %	標準含水率 30 % Po=50 に對する %	標準含水率 30 % 含水率の最大壓力同種中 %	標準含水率 30 % 含水率の最大强さを與へる强さに對する標準 %	標準含水率 30 % 强さに對する含水率 70 % の %	標準含水率 20 % Po=50 に對する %	標準含水率 20 % 含水率の最大壓力同種中 %	標準含水率 20 % 含水率の最大强さを與へる强さに對する標準 %	標準含水率 20 % 强さに對する含水率 70 % の %	標準含水率 10 % Po=50 に對する %	標準含水率 10 % 含水率の最大壓力同種中 %	標準含水率 10 % 含水率の最大强さを與へる强さに對する標準 %	標準含水率 10 % 强さに對する含水率 70 % の %	標準含水率外の試驗 含水率 %	標準含水率外の試驗 最大强さを與へる强さに對する標準 %	標準含水率外の試驗 强さに對する含水率 70 % の %
50	A平均	(100)	72	24	(100)	87	47	194	(100)	79	87	359	(100)	84	(100)	412					4.8	76	315
	B平均	(100)	67	22	(100)	93	49	223	(100)	80	86	391	(100)	86	(100)	445					17.4	92	421
	C平均	(100)	96	28	(100)				(100)	98	94	332	(100)	96	(100)	353	(100)		87	358	12.5	89	313
	最大	(100)	(100)	28	(100)	(100)	45	160	(100)	(100)	92	326	(100)	(100)	(100)	282			83	344	12.5	91	325
	最小	(100)	64	23	(100)	84	48	208	(100)	75	89	383	(100)	77	(100)	427			83	303	12.5	109	465
	平均	(100)	78	25	(100)	90	46	184	(100)	86	89	357	(100)	89	(100)	401			97	403	12.6		
30	A平均	74	73	28	71	85	52	186	69	82	91	336	64	88	(100)	357					3.8	70	251
	B平均	78	71	25	72	92	51	207	73	87	90	366	69	97	(100)	405					17.3	85	345
	C平均	73	97	33					66	93	99	330	63	99	(100)	303	63		83	252	12.5	92	277
	最大	73	(100)	34	73	(100)	54	160	67	(100)	101	300	61	(100)	(100)	298			85	254	12.5	92	274
	最小	80	70	33	71	81	56	185	70	79	102	338	64	78	(100)	332			99	327	13.2	114	378
	平均	75	81	29	72	89	50	176	69	89	94	330	65	95	(100)	350							
10	A平均	30	80	34	27	87	59	175	25	91	(100)	298	20	83	92	275					3.5	57	170
	B平均	33	80	32	28	96	60	192	27	97	(100)	318	22	95	99	313					17.6	85	270
	C平均	28	100	49					17	77	(100)	203	15	73	95	194	16		81	164	7.7	82	167
	最大	27	(100)	38	27	(100)	61	160	22	(100)	(100)	264	20	(100)	100	264			67	176	7.9	70	184
	最小	32	76	40	28	85	72	179	21	71	(100)	248	18	67	94	232			79	195	7.7	79	195
	平均	30	87	37	36	92	63	169	23	88	(100)	265	19	84	95	255							



第 3 圖　製作壓力に據る比較

之等の内主要なるものを擧ぐれば次の如くである．

a)　含水率等しいもの＞壓縮强さと製作壓力との關係は，第 2 表及第 3 圖に示すが如く，乾濕共に製作壓力の大なるもの程大であり，製作壓力 10～50 kg/cm² の範圍内では略ゝ直線的である．

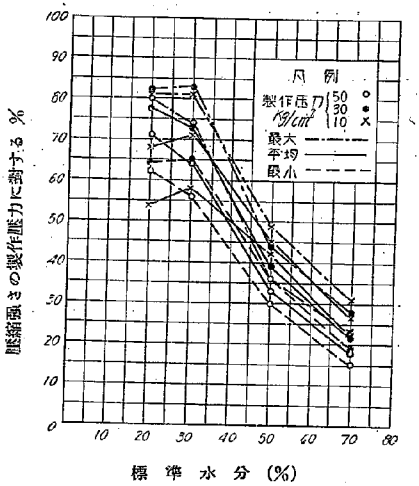
b)　乾燥に伴ふ壓縮强さの增加及び增率は第 2 表に示すが如く製作壓力の大なるもの程大であつて，製作壓力 10 kg/cm² のもの＞最大增加 5.26 kg/cm²，最大增率 215% なるに比し，製作壓力 50 kg/cm² のものに於ては 27.64 kg/cm², 356% に達する．

c)　壓縮强さを製作壓力に比較すれば第 3 表及第 4 圖の如く常に小である．而して濕潤の時は低壓の場合比率最大にして 31% に達するが乾燥

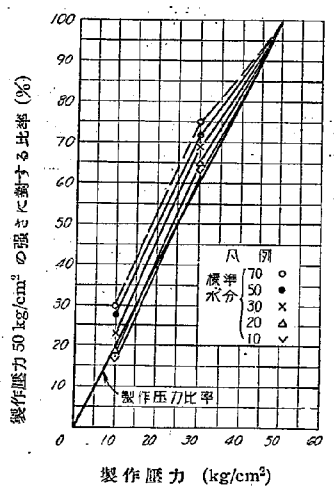
後は却つて高壓のもの比率大きく 30kg/cm² のもの最大にして 83% に達するものがある.

第 3 表　壓縮强さと製作壓力との關係

製作壓力 P_0 (kg/cm²)	種別	壓縮强さの製作壓力に對する %						
		標準含水率 70 %	標準含水率 50 %	標準含水率 30 %	標準含水率 20 %	標準含水率 17.5%	標準含水率 12.5 %	標準含水率 10 %
50	A	16	32	59	67	—	—	—
	B	15	34	59	69	64	—	—
	C	22	—	71	77	—	69	64
	最大	23	36	74	80	—	—	—
	最小	15	30	56	62	—	—	—
	平均	18	33	64	71	—	—	—
30	A	20	37	68	72	—	—	—
	B	20	41	72	80	68	—	—
	C	27	—	77	81	—	74	67
	最大	28	44	83	82	—	—	—
	最小	19	36	65	64	—	—	—
	平均	22	39	73	78	—	—	—
10	A	25	43	74	68	—	—	—
	B	25	47	79	77	67	—	—
	C	31	—	63	60	—	—	51
	最大	31	49	81	81	—	—	—
	最小	23	42	58	54	—	—	—
	平均	27	45	71	68	—	—	—



第 4 圖　壓縮强さの製作壓力に對する比率



第 5 圖　壓縮强さの製作壓力別比率

d)　製作壓力相互の比率と壓縮强さの製作壓力別の比率とを，製作壓力 50kg/cm² を基準として對照すれば，第 5 圖に示すが如く製作壓力 30 kg/cm² のものに於ては，乾濕共に製作壓力の比率 60 % より大にして最大は濕潤時 75 % に達するも，乾燥と共に製作壓力の比率に近づく．製作壓力 10 kg/cm² のものは，限界含水率以下に乾燥せる場合に製作壓力の比率 20% より降るが，他は之より稍〻大である．而して限界含水率に於て

は壓縮强さの比率は殆んど製作壓力の比率と一致する.

e) 限界含水率を超へて乾燥する場合に於ける壓縮强さの減少及減率は製作壓力の大なるもの程大である.

(3) 本試驗方法に於ては分界含水率は製作壓力に拘はらず孰れも 30% 附近にして, 室內自然乾燥によつて到達し得る範圍內であるが, 製作壓力の上昇と共に低下する傾向あるものの如くである. 而して本試驗結果に於て, 乾燥の程度分界點を超せば壓縮强さの含水率による變化が曲線的となるのは, 本試驗の乾燥方法が該範圍に於て自然乾燥に比し, 稍〻急激なりし爲に因るや否やは未だ明確でない.

(4) 本試驗方法に於ける限界含水率は製作壓力によつて稍〻異り, 高壓のもの程低下する傾向はあるが孰れも室內自然乾燥によつて到達し得る範圍に近い. 本試驗に於ては試驗期間の都合上標準含水率 20% 以下は電氣乾燥器を用ひたが, 室內自然乾燥法により到達し得た標準含水率 30% に於ける壓縮强さは製作壓力により異るが, 孰れも略〻最大壓縮强さに近く, 最低率なる製作壓力 50 kg/cm² の場合に於ても 80% 以上にして, 低壓のものに於ては最大壓縮强さに等しい.

(5) 自然乾燥の範圍を超へ含水率遙に限界含水率以下となれば壓縮强さは減少するが其減勢は比較的緩除である. 本試驗に於て到達せる最小含水率は 4.4 乃至 2.7% であるが斯くの如き低含水率に於ても 壓縮强さは甚しくは減少せず, 第 4 表に示すが如く 限界値の 53～78%, 當初强さの 3.5～1.6 倍である.

第 4 表 乾燥著しき場合の壓縮强さの比較

製作壓力 (kg/cm²)	製作當初の		最大强さの場合の		最乾燥の場合の			
	含水率 (%)	壓縮强さ (kg/cm²)	含水率 (%)	壓縮强さ (kg/cm²)	含水率 (%)	壓縮强さ (kg/cm²)	壓縮强さの割合(%) 對製作當初	對最大値
50	69.1	8.08	20.4	35.77	4.4	28.00	346	78
30	69.1	6.04	19.5	22.69	2.7	15.04	250	66
10	69.1	2.47	29.7	7.65	2.7	4.07	165	53

(6) 乾燥によつて減少する含水率と壓縮强さの增加及增率との關係は第 5 表及第 6 圖に示すが如く直線的ではない.

(7) 製作壓力 10 kg/cm² のもの>壓縮强さの乾燥による增加は 比較的輕微且緩除で分界含水率, 限界含水率共に明確ではないが略〻 30%の附近にあり, 最大增加 5.67 kg/cm², 原强さの 3.3 倍に達する. 最大壓縮强さは 8.14 kg/cm² にして製作壓力の 81.4 % である.

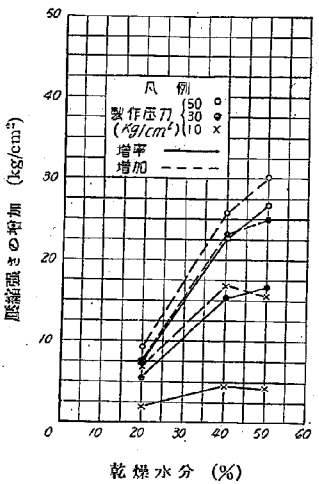
第 5 表　含水率の減少と壓縮強さの增加との比較

增率は製作直後の壓縮強さに對する百分率

製作壓力 P_0 (kg/cm²)	種別	製作直後の壓縮強さ (kg/cm²)	減少含水率 20 壓縮強さの 增加 (kg/cm²)	增率 (%)	減少含水率 40 壓縮強さの 增加 (kg/cm²)	增率 (%)	減少含水率 50 壓縮強さの 增加 (kg/cm²)	增率 (%)	減少含水率 60 壓縮強さの 增加 (kg/cm²)	增率 (%)
50	A	8.16	7.62	93	21.15	260	25.47	313	—	—
	B	7.56	9.33	125	22.01	292	26.93	356	—	—
	C	10.92	—	—	25.30	232	27.64	253	20.90	191
	平均	8.88	7.46	84	22.83	257	26.68	301	—	—
30	A	6.04	5.18	86	14.23	236	15.54	257	—	—
	B	5.88	6.29	107	15.61	266	17.94	305	—	—
	C	8.02	—	—	15.99	199	16.27	203	12.19	152
	平均	6.65	5.04	76	15.28	230	16.58	250	—	—
10	A	2.47	1.85	75	4.89	198	4.31	174	—	—
	B	2.47	2.26	92	5.38	218	5.26	215	—	—
	C	3.08	—	—	3.17	103	2.88	94	1.98	64
	平均	2.67	1.85	69	4.48	168	4.15	155	—	—

8)　製作壓力 30 kg/cm² のもの>分界含水率は 30%，限界含水率は 20%，乾燥による壓縮強さの增加の最大は 18.67 kg/cm²，原強さの 4.15 倍，最大強さは 24.79 kg/cm² にして製作壓力の 83 % である．乾燥の効果の製作壓力に對する比率は 3 者中最大である．標準含水率 70% の場合に於ては時に製作壓力 50 kg/cm² の場合の壓縮強さより大なる場合あるも乾燥後に於ては斯くの如き現象はない．

9)　製作壓力 50 kg/cm² のもの>分界及限界含水率は夫>30 % 及 20 % にして，製作壓力 30 kg/cm² の場合と異ならない．壓縮強さの乾燥による增加の最大は 28.86 kg/cm²，原強さに對する比率の最大は 4.45 倍である．最大壓縮強さは 40.21 kg/cm² にして製作壓力の 80% に當り，製作壓力 30kg/cm² の場合に比し比率稍>小である．



第 6 圖　壓縮強さの增加と乾燥水量

以上の結果と前諸報告の結果とを綜合するに東京山手赤土の壓縮強さは，その含水率，製作壓力及加壓方法等によつて異るが，加壓條件同一にして含水率等しい場合に於ても其含水率に到達せる徑路即ち濕潤によつて到達したか，乾燥によつて到達したか，換言すれば其含水率の歷史によつて壓縮強さに大なる徑庭がある．而して此事が單に今回の試料で

ある東京山手赤土に獨特の性質であるか或は一般類似の組成を有する土に共通であるかは更に他の實驗を重ね且理論的考察を經なければ明かでない.

アスファルト，タールの性質に及ぼす氣象作用の影響，特に其薄層の場合の性質變化

內務技師　西　川　榮　三
內務技手　山　田　耕　之　助

目　次

I. 緒　言……（1）
II. 試　料……（3）
III. 薄層の重量變化及び外觀的考察……（4）
IV. 薄層の稠度變化……（13）
V. 薄層の成分の變化，軟化點の變化；並にタール蒸溜殘留物の成分，軟化點，稠度等との比較考察……（35）
［1］アスファルト中カービンの量……（35）
［2］タール中遊離炭素の量……（36）
［3］アスファルト及タールの軟化點（R&B）……（37）
［4］タール蒸溜殘留物の成分及軟化點等と風化殘留物の夫等との比較……（39）
［5］タール蒸溜殘留物とタール風化殘留物との徹針度の比較……（44）
［6］上記比較によるタールの硬化に關する考察……（53）
VI. 要　約……（55）

I. 緒　言

石油アスファルト或は鋪裝用タール等の瀝青質材料が，鋪裝用或は防水用として使用せらるゝ場合には，屢〻薄層の狀態に於て存在する．薄層の狀態に於ける瀝青質材料は，相當の厚さを有するものに比して其の性質の變化が著しく大である．かゝる狀態に於ける性質變化を研究しておくことは土木工事にこれを使用する場合極めて必要である．

これ等薄層の性質の變化は，次の各條件によりて異る．

1. 薄層を實驗室空氣中に放置せる場合
2. 薄層を密閉せる器の中に靜置せる場合
3. 薄層を日光の直射下に置きたる場合
4. 薄層を水中に置きたる場合
5. 薄層を鹽類液中に置きたる場合
6. 薄層を酸類液中に置きたる場合
7. 薄層をアルカリ液中に置きたる場合

(1) 薄層を實驗室空氣中に放置せる場合は，路面處理工，シール・コート，瀝青塗裝等に於て日光が直射せず，降雨その他の水の影響を受けざる場合，空氣との接觸面に於ける

瀝青質材料の狀態に近似するもので，瀝青質材料面が，もし揮發性成分を含有する時は，徐々に蒸發を起すべく，又瀝青質材料が空氣中の酸素を吸收する性質を有する場合は，其の表面に於て酸素との間に化學變化を生じ，一部成分の消失，殘留成分の變質，物理性の變化等が豫想せられる．

(2) 薄層を密閉器中に靜置せる場合は，シート・アスファルト，アスファルト・コンクリート，アスファルト・ブロック等の鋪裝工事，其の他の諸工事に於て，比較的表面より遠き部分にある瀝青質材料にして，直接外氣，水分等に接觸すること少き部分の狀態に近似するもので，蒸發比較的少く，酸素の吸收も少く，從つて其の性質の變化の少いことが豫想せられる．

(3) 薄層を日光の直射下に置きたる場合は，(1) の場合に於ける諸種狀態に加ふるに紫外線の作用，日光による溫度上昇の作用等が同時に行はるゝものと見做され，この場合には揮發成分の蒸發甚しく，解重合，重合，縮合，酸化，炭化等の現象が豫想せられ，これ等種々の作用が同時に行はるゝ結果の總和として，i) 重量の變化，ii) 遊離炭素の生成或は增加，從つて純瀝青の減少，iii) 薄層の硬化若しくは脆化，iv) 薄層外觀の變化，皺の發生，光澤の消滅，龜裂，剝落等を生ずるものと推測される．

(4) 薄層を水中に置きたる場合は，瀝青質鋪裝面が永く雨天に遭遇せる場合，或は水中或は濕潤せる土壤中に築造せられたる瀝青質防水層等の狀態と近似せるもので，水可溶成分の溶出，薄層の吸水，從つて重量の變化，薄層の軟化或は硬化，皺の發生，龜裂，剝落，孔等の生成等が豫想せられる．

(5) 薄層を鹽類液中に浸漬せる場合は，瀝青質防水層中の瀝青が海水，鹽類性地下水等の作用を受くる場合に於ける變化を豫想する助となるもので，可溶性成分の溶出，薄層の吸水，從つて重量變化，薄層の軟化或は硬化，皺，龜裂，剝落，孔等の生成等を豫想しうべく，清水に於けるよりも，含有鹽類の影響により何等か異れる作用を受くるものと推測せられる．鹽類の影響が重大なるものなりや，將考慮に入るゝに足る程の價値なきものなりやは實驗に徵すべき問題なりとす．

(6) 薄層を酸液に浸漬せる場合
(7) 薄層をアルカリ液に浸漬せる場合

この2者に於ても，上記の如く，水及び其の中の含有成分の影響を受くるものと推測せらるゝもので，主として上記4及び5の場合と比較する意味にて試驗を行へるものであるが，各種瀝青質材料の酸液，アルカリ液等に對する抵抗性の一斑を知る資料となすを得べし．

II. 試　　料

本試驗に使用せる試料は，下記の7種にして，其の一般性質は第1表及び第2表の如くである.

1.	ストレート・アスファルト	針度 40～50	No. 2025
2.	同　　上	〃 150～200	No. 1962
3.	ブローン・アスファルト	〃 10～20	No. 1356
4.	常温用タール	C	No. 2017
5.	加熱路面處理用タール	D	No. 2018
6.	加熱混合マカダム用タール	E	No. 2020
7.	加熱混合用タール	G	No. 2021

第 1 表　アスファルトの一般性質

試料		ストレート・アスファルト 40～50	ストレート・アスファルト 150～200	ブローン・アスファルト 10～20
試驗番號		2025	1962	1356
1. 比重 25°/25°C		1.022	1.002	1.022
2. 針度 0°C, 200 g, 60 sec		…	…	6.5
25°C, 100 g, 5 sec		46	163	15.5
46°C, 50 g, 5 sec		…	…	25.0
3. 延性 15°C, 5 cm/min		>100	>100	1.0(25°C)
4. 引火點，開放式	°C	291.0	300.5	221.0
5. 燃燒點	°C	>325	339	258
6. 軟化點，R & B	°C	49	46	96.5
7. 蒸發減，163°C, 50 g, 5 h	%	0.07	0.01 (增)	0.08
8. 蒸發殘留物針度 25°C		37	136	14
9. 原針度に對する	%	80.4	83.4	90.4
10. 溶解，CS_2	%	99.93	99.84	99.84
11. 固形パラフィン		…	含有	…

第2表のタールを，鋪裝用タール規格案（第31號，84頁）と比較するに，常温用タール (No. 2017) は其の性質，規格案C號タールに略、該當し，加熱用タール (No. 2018) は，D號タールに，加熱用タール (No. 2020) は，蒸溜試驗成績に於て少しく高温溜出分多きも大約 E 號タールに比較すべく，加熱用タール (No. 2021) は，G 號タールに相當する．而して 235°C 以下の溜出分少く，270～300°C の溜出分多く，遊離炭素少く，300°C 以上蒸溜殘留物軟化點低き點より考ふれば，No. 2021 は軟ピッチに中油或はアントラセン油をカット・バックして製せるもの>如し.

第 2 表 鋪裝用タールの一般性質

試料	常温用タール	加熱路面處理用タール	加熱混合マカダム用タール	加熱混合用タール
試驗番號	No. 2017	No. 2018	No. 2020	No. 2021
1. 比重 25°C	1.171	1.189	1.212	1.220
2. エングラー比粘度				
50°C	17.0	57.7	378.4	…
80°C	3.2	6.6	22.1	37.8
100°C	1.9	2.8	6.3	10.4
120°C	1.6	1.9	3.0	4.1
3. タール粘度				
25°C	4	32	770	…
30°C	3	14	240	1060
35°C	2	7.5	98	380
4. 引火點 開放式 °C	116	118	122	125
5. 燃燒點 °C	127	135	142	150
6. 水分 %	痕跡	同左	同左	同左
7. 蒸溜試驗 %				
0～170°C	0.32	0.28	0.22	0.22
170～235°C	2.87	1.90	1.51	0.92
235～270°C	10.38	8.86	5.26	4.40
270～300°C	11.02	7.64	9.42	8.00
300° 以上殘留物	75.40	81.30	83.57	86.44
8. 原タール 軟化點 R&B °C	液狀	4.0	22.0	28.0
9. 300°C 以上殘留物比重	1.219	1.227	1.245	1.248
10. 同 軟化點 R&B °C	29.0	35.0	48.0	50.5
11. タール酸 容積 %	1.12	0.82	0.53	0.41
12. ナフタリン %	0.37	0.26	痕跡	痕跡
13. 遊離全量 CS_2 %	91.56	89.83	87.51	87.04
14. 灰分 %	0.05	0.06	0.07	0.06
15. 遊離炭素 %	8.39	10.11	12.42	12.90

尙，鹽類溶液は，$MgCl_2$ (2.75g)，$MgSO_4$ (2.75g)，Na_2SO_4 (2.75g) を $CaSO_4$ の飽和溶液 1 lit. に溶解せるもの (約0.9%)；アルカリ溶液は NaOH 2% 溶液，酸液は H_2SO_4及 HCl 各1%液等量混液 (計2%) を用ひた.

III. 薄層の重量變化及外觀的考察

上記7種の試料を厚 2～3 mm 程度の薄層に擴げ，實驗室空氣中，密閉器中，日光下，清水中，鹽類液中，酸液中，アルカリ液中に靜置し，其の重量の變化を試驗した．試料は徑約 55 mm (表面積 23.7 cm^2) の銅製或は硝子製の器に 7.0～9.0 g を採取して供試體と

なし，0，3，7，15，30，90，180，365 日目毎に其の重量を測定した．

[1] アスファルトの重量變化

アスファルトの重量變化は第3表乃至第5表及び第1圖，2 圖，3 圖の如し．

第 3 表　ストレート・アスファルト，40～50，重量變化%

風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
3 日	+0.14%	+ 0.05%	+0.25%	+ 0.06%	+ 0.05%	+ 0.03%	+ 0.02%
7 日	+0.29	+ 0.08	+0.92	+ 0.11	+ 0.12	+ 0.05	+ 0.04
15 日	+0.41	+ 0.09	+1.22	+ 0.18	+ 0.10	+ 0.06	− 0.27
1 月	+0.71	+ 0.14	+1.73	+ 0.23	+ 0.17	+ 0.14	− 0.23
3 月	+1.46	+ 0.30	+1.98	+ 0.40	+ 0.40	+ 0.28	− 0.17
6 月	+1.55	+ 0.57	+1.98	+ 0.64	+ 0.70	0.56	…
1 年	+1.98	+ 1.54	+2.15	+ 1.23	+ 1.50	+ 1.32	…

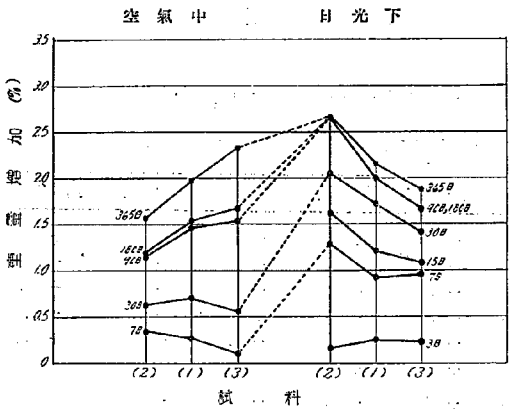
第 4 表　ストレート・アスファルト，150～200，重量變化%

風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
3 日	+0.18%	+ 0.03%	+0.17%	+ 0.06%	+ 0.05%	+ 0.03%	+ 0.02%
7 日	+0.35	+ 0.05	+1.30	+ 0.11	+ 0.10	+ 0.04	+ 0.04
15 日	+0.43	+ 0.07	+1.62	+ 0.22	+ 0.11	+ 0.10	+ 0.10
1 月	+0.63	+ 0.18	+2.05	+ 0.28	+ 0.18	+ 0.16	+ 0.14
3 月	+1.14	+ 0.37	+2.65	+ 0.53	+ 0.47	+ 0.32	+ 0.25
6 月	+1.19	+ 0.78	+2.65	+ 0.72	+ 0.83	+ 0.63	+ 0.86
1 年	+1.57	+ 1.17	+2.68	+ 1.43	+ 1.80	+ 1.56	+ 1.15

第 5 表　ブローン・アスファルト，10～20，重量變化%

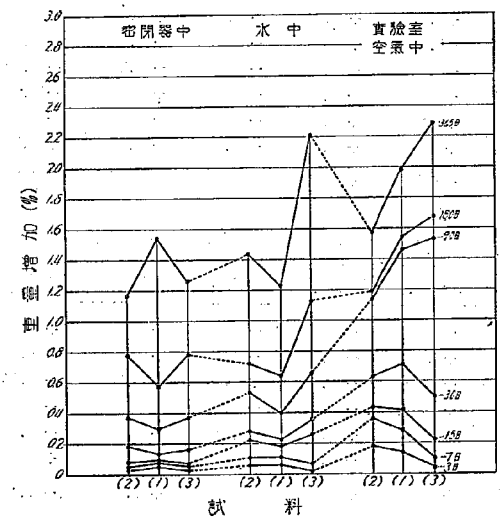
風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
3 日	+0.04%	+ 0.03%	+0.22%	+ 0.02%	+ 0.13%	+ 0.02%	+ 0.01%
7 日	+0.10	+ 0.05	+0.94	+ 0.07	+ 0.12	+ 0.04	+ 0.04
15 日	+0.22	+ 0.07	+1.08	+ 0.26	+ 0.16	+ 0.10	+ 0.14
1 月	+0.50	+ 0.16	+1.42	+ 0.36	+ 0.22	+ 0.17	+ 0.26
3 月	+1.53	+ 0.37	+1.66	+ 0.66	+ 1.11	+ 0.46	+ 0.44
6 月	+1.68	+ 0.78	+1.66	+ 1.13	+ 1.44	+ 0.97	+ 1.28
1 年	+2.28	+ 1.26	+1.84	+ 2.21	+ 3.08	+ 2.85	+ 2.47

上記の結果に依れば，アスファルトの薄層を空氣中，密閉器中，日光下，清水中，鹽類液中，酸液中，アルカリ液中に置きたる場合には，いづれも重量增加を示し，其の增加率は日と共に大となる．密閉器中に於ては，重量增加の程度少く，之につぎ清水中，鹽類液中，



第1圖　アスファルト薄層重量變化　但し，實驗室空氣中，及，日光下

(1) ストレート・アスファルト　40～50
(2) 同　上　150～200
(3) ブローン・アスファルト　10～20



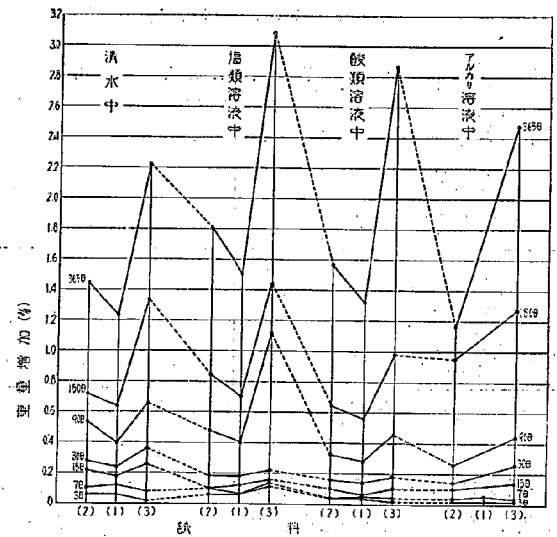
第2圖　アスファルト薄層重量變化　密閉器中，水中，實驗室空氣中

(1) ストレート・アスファルト　40～50
(2) 同　上　150～200
(3) ブローン・アスファルト　10～20

酸液中，アルカリ液中に於けるものが增加の程度が少い．空氣中に於けるものは相當に重量增加を示し日光下に於けるものは最も增加率が大である．

密閉器中，實驗室空氣中に於けるものを比較すれば，重量增加の程度は全然異る．之は主として，アスファルトが空氣中より酸素を吸收するによるものと考へらる．密閉器中に於ては空氣の量は少量に制限せらるゝに反し，實驗室の空氣中にては其の供給豊かなるを以て，自由に酸素を吸收し得る．吸收せられたる酸素は，恐らくアスファルトの成分と化合の狀態にあるものと推測せらるゝを以て，それだけアスファルトの性質を變化するものと豫想せられる．實驗室空氣中放置と日光下曝露とを比較すれば，日光下のものは重量變化更に多大で，酸素の吸收急速なるを示して居る．兩場合は溫度の相異をも考ふる必要あるも，紫外線の化學的影響に負ふ所大なるものと考へられる．日光下に

於ては酸素の吸收のみならず，重合，解重合，縮合，炭化等の現象も豫想し得られ，アスファルトの薄層は既に1ヶ月にして光澤を失ひ，表面に皺を生じ，炭化の傾向を認め，膠着性乏しき外觀を示し，肉眼に於ても，明かに變質せることが認められる．然れども其の重量の變化は上記の如き試料にありては，1年間に3.0％以内の少量である．



第3圖　アスファルト薄層重量變化　清水中，鹽液中，酸液中，アルカリ液中　試料は第1圖と同じ

清水中に浸漬せる試料は，上記の密閉器中，實驗室空氣中，日光下の試料に比して，酸素の供給を受くることは極めて乏しきものと推察せられ，其の重量の增加はむしろ吸水によるものと考ふるを至當とする．吸水の程度は，空氣中試料が酸素を吸收する量に比すれば遙かに少く，之を水中より取り出して，水分を蒸發せしむれば，原重量に戻しうるものなるを以て，この吸收水分は，アスファルトと化合せるに非ずして，單に物理的に吸收せられ居るに止まるものと見做すを至當とし，從つてアスファルト本來の成分に化學的變化を來すものとは考へられないから，其の性質も著しき變化を受くるものとは豫想せられない．

之等の考より，石油アスファルトは清水中にては，比較的變質緩慢なるも，空氣中殊に日光下に曝さるゝ時は，速に變質し，其の物理性を著しく損ふことが充分推察せられる．

鹽類溶液中，酸溶液中，アルカリ溶液中に於ては吸水の程度は清水中に於けるものより稍〻少く，この點より想像して上記程度の濃度に於ては，これ等の溶液はアスファルトの性質に及ぼす影響少きものと想像せられる．尙アスファルトの性質の變化に關しては後に述べる．

上記試驗結果より半年及び1年間に於ける單位面積當りの重量增加を算出すれば，第6表の如し．

第6表　アスファルトの單位面積當り重量增加　……mg/cm²

期間	アスファルト種別	實驗室空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
		mg/cm²	mg/cm²	mg/cm²	mg/cm²	mg/cm²	mg/cm²	mg/cm²
半	ストレート 150～200	36.8	27.0	95.0	22.2	26.8	21.2	29.0
	ストレート 40～50	48.8	18.6	73.8	20.6	24.2	19.3	12.1
年	ブローン 10～20	55.3	26.6	63.4	34.6	46.8	33.9	48.1
1	ストレート 150～200	48.8	45.6	95.6	44.5	62.0	53.0	39.1
	ストレート 40～50	61.6	47.2	79.8	39.7	51.8	45.9	……
年	ブローン 10～20	75.6	47.6	70.2	70.9	99.6	99.6	86.4
備考		主として酸素吸收によるものと想像せられる			主として吸水によるものと考へらる			

3種のアスファルト相互の重量變化を見るに，大同小異であつて，アスファルトの種類の差よりも周圍の狀況の差がアスファルトの變質に對してより多く影響することを示して居るが，清水中，溶液中に於ては，ストレート・アスファルトに比して，ブローン・アスファルトの方が吸水率が高い傾向を示して居る．

上記の如き考へ方より，アスファルトの使用方法について一考するに，アスファルトをシール・コート或は瀝青塗料等として戶外に使用する場合は，空氣，日光等によりて其の表面は日と共に變質し，其の面は粗鬆となり，水を吸收滲透しやすくなり，剝落，龜裂等を起しやすい．殊に塗料としては，アスファルトのみを塗膜主成分として殘す樣なものは，日光下に曝さるゝ所には使用不可能で，其の壽命は恐らく3ヶ月を保ち難いものと思はれる．又地中に於ける防水層にアスファルトを使用するにあたりては，地下水中或は土壤中の水分に多くの溶存物質なき場合と雖もアスファルト層が空氣と接觸しやすい狀態にある場合には其の表面より漸次變質を受け，長日月の間にはアスファルトは脆化するものと考へなければならない．

然しながら，アスファルトの變質は其の表面より行はれるのであるから，其の表面を他物で保護するか，アスファルトの層を厚くするかいづれかの方法を採れば，長き使用にも相當たへうるものとならう．

之に反して，シート・アスファルト或はアスファルト・コンクリートの如き鋪裝の下部に存在するアスファルトは，容易に空氣，日光，水等の影響を受けがたきを以て著しく變質することなく，長年月の後と雖もよく其の良性質を保持し得ることは推察に難くない．

[2] 鋪裝用タールの重量變化

鋪裝用タール中には，揮發成分を多量に含み，又水可溶成分をも含有し居るを以て，アスファルトに比して，其の變化は一層複雜である．其の變化は第7表乃至第10表及び第4圖乃至第6圖の如くである．

第7表乃至第10表によれば，鋪裝用タールの場合に於ても，アスファルトの場合と同樣の理由によつて，密閉器中に於ては變化が比較的少く，之に次ぎて空氣中，日光下の順

第7表　常溫用タール．重量變化 %

風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
	%	%	%				
3日	−0.56	− 0.14	− 2.44	液中に於て試料が容器中より流出し測定不能なりしを以て試驗せず			
7日	−1.00	− 0.40	− 7.51				
15日	−1.58	− 0.52	−12.00				
1月	−2.23	− 0.89	−16.06				
3月	−3.99	− 1.09	−18.42				
6月	−5.04	− 2.15	−18.71				
1年	−6.20	− 6.77	−25.20				

第8表　加熱路面處理用タール　重量變化 %

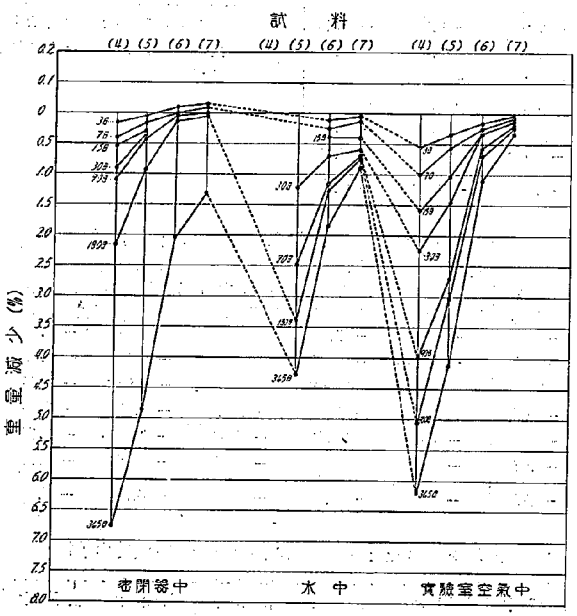
風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
	%	%	%	%	%	%	%
3日	−0.33	− 0.05	− 1.22	…	…	− 0.32	− 0.11
7日	−0.56	− 0.14	− 4.26	…	− 0.62	− 0.46	− 0.50
15日	−1.02	− 0.30	− 7.68	…	− 0.95	− 0.94	− 0.55
1月	−1.45	− 0.34	−11.82	− 1.21	− 1.37	− 1.18	− 0.51
3月	−2.70	− 0.40	−13.29	− 2.48	− 1.83	− 1.56	− 0.59
6月	−3.02	− 0.92	−13.38	− 3.37	− 3.36	− 2.78	− 0.44
1年	−4.11	− 4.82	−18.94	− 4.28	− 4.76	− 5.73	+ 1.64

第9表　加熱混合マカダム用タール　重量變化 %

風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
	%	%	%	%	%	%	%
3日	−0.14	+ 0.02	− 0.63	− 0.11	− 0.08	− 0.08	− 0.08
7日	−0.25	± 0.00	− 3.48	− 0.23	− 0.11	− 0.15	− 0.11
15日	−0.32	− 0.05	− 6.00	− 0.37	− 0.15	− 0.20	− 0.06
1月	−0.33	− 0.07	− 8.78	− 0.70	− 0.21	− 0.18	− 0.28
3月	−0.61	− 0.03	−10.08	− 1.15	− 0.28	− 0.26	− 0.08
6月	−0.69	− 0.10	−10.26	− 1.26	− 0.56	− 0.45	− 0.49
1年	−1.09	− 2.03	−13.76	− 1.83	− 1.48	− 1.51	+ 2.41

第 10 表　加熱混合用タール　重量變化%

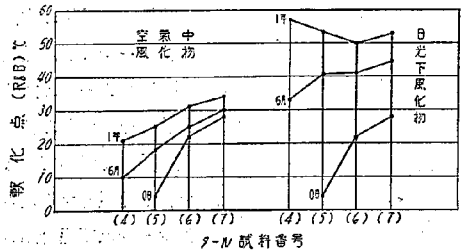
風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
	%	%	%	%	%	%	%
3 日	−0.02	+ 0.03	−0.30	− 0.06	− 0.04	− 0.04	− 0.04
7 日	−0.06	+ 0.02	−0.63	− 0.12	− 0.03	− 0.10	− 0.05
15 日	−0.12	± 0.00	−3.02	− 0.18	− 0.06	− 0.16	− 0.05
1 月	−0.12	− 0.01	−4.92	− 0.39	− 0.09	− 0.21	− 0.01
3 月	−0.18	± 0.00	−5.45	− 0.59	− 0.08	− 0.23	− 0.05
6 月	−0.23	− 0.04	−5.50	− 0.61	− 0.23	− 0.29	+ 1.65
1 年	−0.32	− 1.30	−8.50	− 0.89	− 0.68	− 0.88	+ 3.15



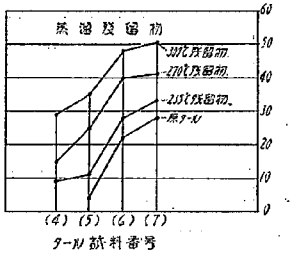
第 4 圖　鋪裝用タール薄層重量變化　密閉器中，水中，實驗室空氣中
(4) 常温用タール　(5) 加熱路面處理用タール
(6) 加熱混合マカダム用タール　(7) 加熱混合用タール

位に變化激しくなる．清水中に於ては蒸發を起し難きを以て，其の變化は比較的少いが溶出作用によりて重量の減少を來たす．

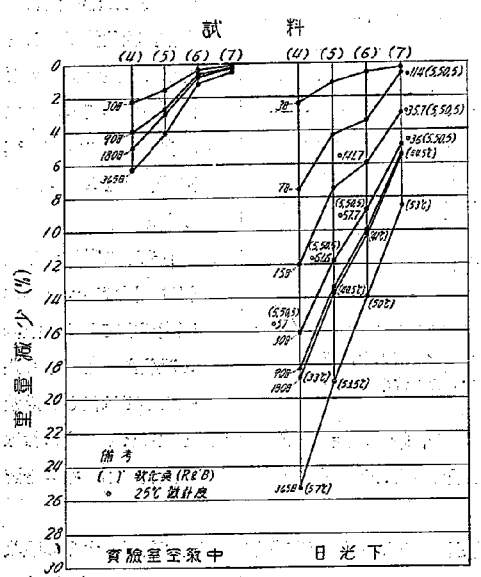
鋪裝用タールは，アスファルトと異り大體に於て，いづれの場合にも重量の減少を示し，其の減少率は日と共に增加して居る．



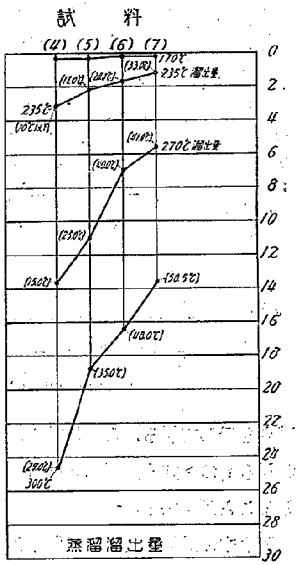
A₁　鋪裝用タール
風化物軟化點



B₁　鋪裝用タール
蒸溜殘留物軟化點



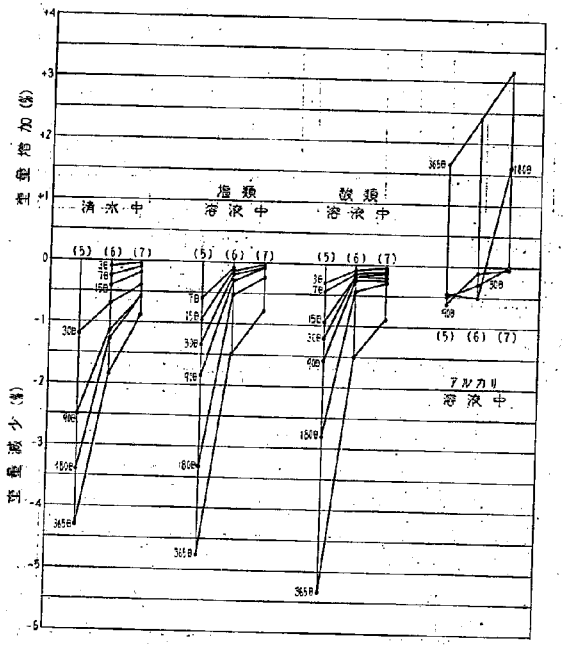
A₂　鋪裝用タール薄層重量變化
實驗室空氣中，日光下



B₂　鋪裝用タール蒸溜溜出量
括弧内は蒸溜殘留物軟化點

第 5 圖

密閉器中及び空氣中試料を比較すれば，揮發成分の蒸發と酸素の吸收とが同時に起りつゝあるものと考へられ，重量變化として示さるゝ數値は，其の兩作用の差である．蒸發量が酸素吸收量より大なる時は全體としては重量の減少を示し，酸素吸收量が蒸發量より大なる場合には重量增加を示す．然しながら，空氣中に於けるものは，酸素吸收よりも蒸發多きを以て全體として重量減少を示して居る．



第 6 圖　鋪裝用タール重量變化．清水中，鹽類液中，酸液中，アルカリ液中

密閉器中試料の中，常温タール及び加熱路面處理用タールの如く，揮發成分多きものは重量の減少を示して居るが，加熱混合マカダム用タール及び混合用タールの如きは，其の初期に於ては蒸發量よりも酸素吸收量多きことを示し，重量は僅少ながら增加して居る．之れ密閉器中に於ては蒸發が制限せらるゝからである．

日光下に曝露せる試料は，温度高かりし爲蒸發極めて多く，酸素の吸收ありとするも全體としては甚しき重量減少を示して居る．この外重合，解重合，縮合，炭化等の現象もある程度まで同時に行はれ居るもの>如く，既に 2 ヶ月を經過せるものは，表面光澤を減じ，炭化作用の兆候を認むることが出來る．

清水中の試料は，酸素の吸收は殆ど問題とならず，又蒸發も考へられざるも，水分の吸收及び水による成分の溶出の 2 現象が同時に行はるゝものと見做される．然しながら浸漬の初期に於ては溶出量の方が吸水量より大なるを以て全體として重量の減少を來たして居る．

鹽類液中，酸液中の試料も略〻清水中試料に類するが，アルカリ液中に浸漬せる試料は，3 ヶ月乃至 6 ヶ月位までは重量の減少を示して居るが，他の場合に比して減少の程度少く，其の以後は却つて重量の增加を示して居る．この現象はタール中アルカリにより不溶解となる成分の存在を暗示するもの>如きも，其の果して然るや否やは本實驗にては不明である．

4 種のタールを比較すれば，揮發成分多きもの程，空氣中，密閉器中，日光下，清水中，

鹽類溶液中，酸液中，アルカリ溶液中の重量減少大である．即ち揮發分多きものは溶出量も亦多いもので，之を言ひかへれば，溶出成分は揮發性物質中に多く含まれて居るものと言ふことになる．

尙清水中の試料に比較すれば，鹽類，酸類，アルカリ類等の溶液中に於ける試料は重量減少率が少い．この事はタール中の溶出性成分を幾分不溶解ならしむるものかと考へられる．殊にアルカリ溶液中に於ける試料は重量の減少甚だ少く，90 日に至るも 0.7 % を超して居ない．もしアルカリの作用によりアルカリ・フエノラート（水可溶物質）が生ずるならば，溶出は促進せらるべきであるが，實驗の成績は却つて反對の兆候を示して居る．

上記の如き考へ方より，タールの使用について一考するに，之をシール・コート或は瀝靑塗料等として戶外に薄層狀態にて使用する時は，揮發性成分の蒸發により漸次固化しゆくと共に，酸素吸收によりても變質するもので，使用當日より日數の經過するに從つて漸次其の稠度を變化することが推察される．直射日光の作用を受くる時は其の變化は著しい．

タールの質によりては，最初アスファルトよりも軟質のものであつても，長き日數の經過後は却つてアスファルトよりも硬質のものともなり得ることが想像せられる．タール・マカダム，タール・コンクリート等にタールを使用せる場合，其の下層部にあるタールは，上記の場合と異り蒸發を受くること少く，又空氣中の酸素を攝取することも少いから，容易に固化しがたきものと推察せられる．從つて鋪裝內部の瀝靑質膠着材は概して永く軟質狀態にあるものと考へられるから，この場合は，鋪裝の安定度は主として碎石の嚙合せに俟つべく，タールの硬化によらんとするは策の得たるものではない．從つてタール使用量は安定度を害せざる範圍內に止むべきである．但しかゝるタール鋪裝に於ても路面に近き部分ではタールの質は時日と共に著しく硬化してゆくものと見做されるから，路表面部と路層內部とに於てはタールの稠度に著しい差異を生ずるものと見るを至當とする．故に路層內部に使用するタールは最初より鋪裝用タール中の比較的硬質のものを選ぶを至當とする．

IV. 薄層の稠度變化

第 III 章に於て取扱ひたる試料につき，日數の經過と共に性質の變化を受けつゝある表面の稠度を測定し，重量變化，外觀變化より推察せる所と相對照し考察を加へることゝする．

然し，薄層をそのまゝの狀態に於て之が稠度を測定することは，從來慣行の種々の稠度試驗方法（針度，軟化點，粘度，ハッチンソン稠度，浮游試驗等）のいづれを以てしても

不可能である．從つて本試驗に於ては，次の如き數種のプランヂャーを用ひ之に 50 g，150 g，250 g 等の荷重をかけて，プランヂャー穿入の距離を 1/100 mm 單位を以て讀み，試料表面より約 1.5 mm 以內にある表面部のみにつき稠度を比較することゝした．この方法は理論的には議論の餘地があり，又各プランヂャー及び各試驗條件相互の間の關係も甚だ複雜なるものにして，數量的比較のなしがたい場合を生ずる憾みがあるが，ブローン・アスファルトの如きものより，常溫鋪裝用タールの如きものに至るまでの，稠度の差違極端に多き材料に對して，試料に特別の處理を加へずして，其の上表面部だけの稠度を比較する方法として他に適當なる方法を見出し得ざる現今に於ては一時之を以て滿足するより外なく，從つて試驗結果の判斷に當りては，其の數値のみによつて速斷するは危險である．

プランジャー及び試驗條件は次の如くである．

No.	プランジャーの端の徑	荷重	載荷時間	略號
1.	5 mm	50 g	5 sec	(5, 50, 5)
2.	3 mm	50 g	5 sec	(3, 50, 5)
3.	1 mm	50 g	5 sec	(1, 50, 5)
4.	針度試驗用針	50 g	5 sec	(0, 50, 5)
5.	同	150 g	5 sec	(0, 150, 5)
6.	同	250 g	5 sec	(0, 250, 5)
7.	同	350 g	5 sec	(0, 350, 5)

試驗は 25°C 及び 1.0°C に於て行ふことゝした．

[1] アスファルトの稠度變化

(1) アスファルト 40~50 稠度變化　アスファルト 40～50 の 25°C 及び 1.0°C に於ける稠度の變化は次の如くである．第 11 表乃至第 12 表及び第 7 圖乃至第 9 圖參照．

第 11 表　ストレート・アスファルト，40～50，25°C 稠度の變化

(プランジャー3 mm，荷重50 g，載荷時間5sec)

風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
0 日	45.9	45.9	45.9	45.9	45.9	45.9	45.9
3 日	46.6	38.5	44.1	43.9	42.7	37.4	45.1
7 日	34.1	37.5	…	42.5	38.5	35.4	40.4
15 日	35.0	28.5	36.7	38.5	38.9	33.0	37.8
1 月	…	32.8	…	37.9	36.6	32.1	36.1
3 月	34.1	24.0	29.6	26.7	41.4	31.0	31.1
6 月	30.5	29.2	26.4	20.7	36.0	30.7	28.0
1 年	39.0	25.0	20.1	25.7	35.0	28.2	26.9

(*P*…1 mm, *W*…50 g, *T*…5 sec)

風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
0 日	119	119	119	119	119	119	119
3 日	…	…	…	…	101	107	126
7 日	…	…	…	…	103	92	118
15 日	…	…	…	114	117	86	114
1 月	…	91.3	…	119(2月)	115	99	120
3 月	127	85.3	58.0	98	115	81	101
6 月	118	87.6	55.4	83	103	82	91
1 年	129	82.6	47.0	78	102	88	87

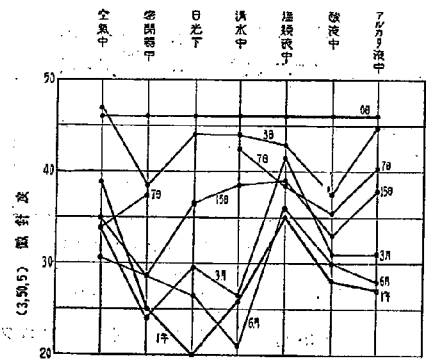
第 12 表　アスファルト 40～50, 1.0°C 稠度變化

(0, 250, 5) の徹針度

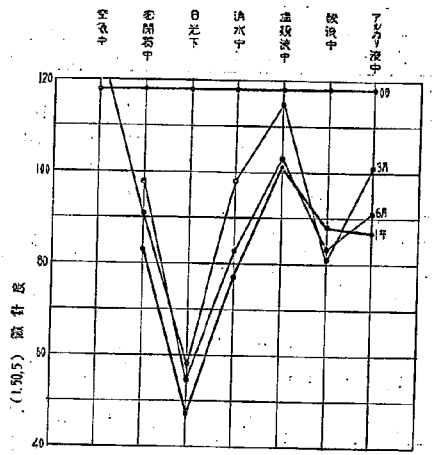
風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
0 日	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3
3 日	…	…	…	…	39.8	32.1	31.1
7 日	…	…	…	…	38.1	33.6	30.8
15 日	…	32.0	…	…	38.8	31.3	30.6
1 月	…	31.8	…	…	29.6	32.3	31.8
3 月	…	35.7	29.5	31.2	34.3	33.3	30.5
6 月	43.8a	29.0	10.2	28.7	40.0	39.3	40.0
1 年	59.0	46.0	9.0	31.5	32.0	38.3	39.0

本試驗の成績に依れば, 鹽類溶液中に於ける試料は最も變化少く, 空氣中及び密閉器中試料之に次ぎ, 日光下の試料は, 著しき變質を受くるを以て, 稠度の數値に於ては 1 ヶ月後も大差なきが如くに見ゆるも其の實質は著しく變化して居る. 3 ヶ月乃至 1 年後は著しく硬化して居る. (尙 6 ヶ月後, 1 年後に於ける軟化點の變化及び遊離炭素の量等を比較せる項參照)

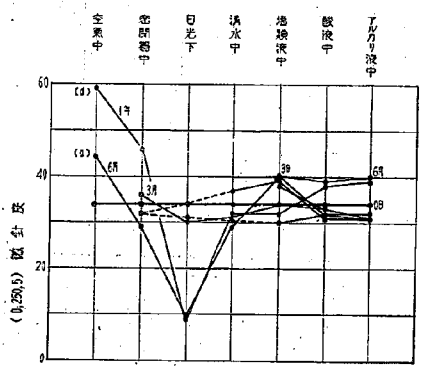
第 11 表及び第 12 表を通覽す



第 7 圖　ストレート・アスファルト (40～50) 25°C 稠度變化
但し, (3mm, 50g, 5sec) の徹針度



第 8 圖　ストレート・アスファルト (40～50)
25°C 稠度變化
但し, (1mm, 50g, 5sec) の微針度



第 9 圖　ストレート・アスファルト (40～50)
1.0°C 稠度變化
但し. (0mm, 250g, 5sec) の微針度

るに，密閉器中に於ては 15 日迄は殆ど稠度に大なる變化なく，空氣中に於ては1ヶ月より3ヶ月に亘る間に變質のため，試料はプランジャー侵入に對する抵抗性を失つて居る．之は試料が軟化したと見るよりも，其の面が粗鬆になつた爲で，かゝる表面に對して，本試驗が少しく不合理なるによる．日光下試料は著しく變質し表面惡化せるに拘らず，本試驗に於ては，其の變化があまり表現せられて居ない．清水中に於けるものは，其の實質も，稠度もあまり變化して居ない．

然し日光下3ヶ月及び6ヶ月のものに至りては，25°C に於ける (1, 50, 5)の微針度，1.0°C に於ける (0, 250, 5) の微針度を見る時著しき硬化現象が行はれたことを知ることが出來るもので，日光の影響，殊に溫度以外の光線影響の大なることを推察せしめる．

清水中，其の他の溶液中に於ては，多少の硬化は認められるとも，實際的には大なる變化なきものと見做して差支ない．

(2) アスファルト，150～200 の稠度變化　アスファルト，150～200 の 25°C 及 1.0°C に於ける稠度の變化は第 13 表，第 14 表及び第 10 圖乃至第 13 圖の如くである．

第 13 表　ストレート・アスファルト，150～200 の 25°C 稠度の變化

(P…5 mm, W…50 g, T…5 sec) の微針度

風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
0 日	76	76	76	76	76	76	76
3 〃	…	62	60	72	58	59	59
7 〃	…	53	7.1	71	58	62	47
15 〃	…	54	…	73	51	40	41
1 月	…	52	…	59	48	19	39
3 〃	66	46	…	39	46	19	27
6 〃	55	52	…	34	21	15	21
1 年	58	33	…	32	26	13	20

(P…3 mm, W…50 g, T…5 sec) の微針度

0 日	152	152	152	152	152	152	152
3 〃	…	…	…	…	…	140	143
7 〃	…	…	…	…	…	138	117
15 〃	…	107	71	…	…	105	108
1 月	…	106	46	…	124	82	100
3 〃	…	106	24	95	123	80	75
6 〃	148	109	30	81	61	65	48
1 年	146	78	11	76	66	54	40

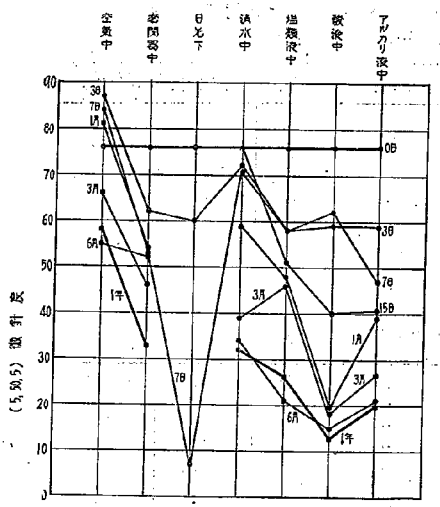
第 14 表　ストレート・アスファルト，150～200 の 1.0°C 稠度の變化

(P…0 mm. W…150 g, T…5 sec) の微針度

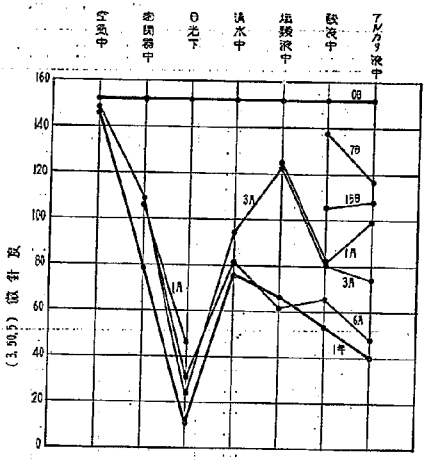
風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
0 日	79	79	79	79	79	79	79
3 〃	…	56	…	79	…	73	..
7 〃	…	53	65	…	…	71	75
15 〃	…	57	64	65	…	60	67
1 月	…	65	46	60	…	65	76
3 〃	…	57	46	62	74	65	66
6 〃	65.3	53	30	48	73	61	67
1 年	68	62	13	55	53	54	63

(P…0, W…250 g, T…5 sec) の微針度

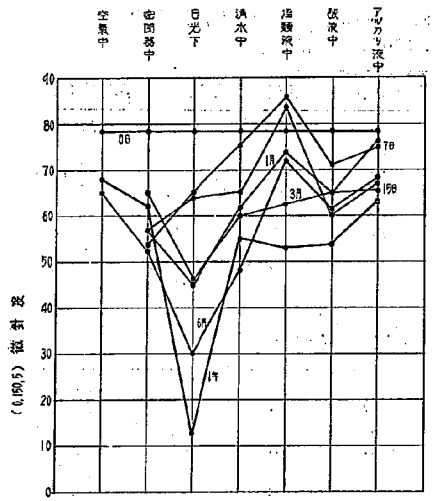
0 日	86	86	86	86	86	86	86
3 〃	…	…	…	…	…	95	91
7 〃	…	…	…	…	88	92	86
15 〃	…	82	…	…	…	84	79
1 月	…	97	…	…	82	82	77
3 〃	…	86	84	90	86	87	75
6 〃	104	79	63	80	90	81	80
1 年	101	89	51	77	71	79	78



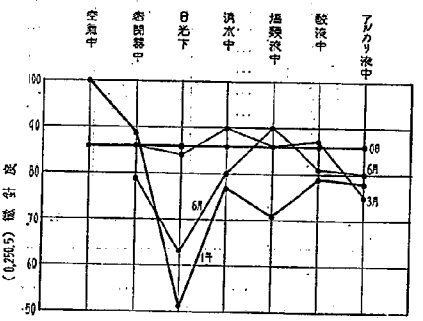
第 10 圖　ストレート・アスファルト(150～200)
25°C 稠度變化
但し, (5mm, 50g, 5sec) の微針度



第 11 圖　ストレート・アスファルト(150～200)
25°C 稠度變化
但し, (3mm, 50g, 5sec) の微針度



第 12 圖　ストレート・アスファルト(150～200)
1.0°C 稠度變化
但し, (0mm, 150g, 5sec) の微針度



第 13 圖　ストレート・アスファルト(150～200)
1.0°C 稠度變化
但し, (0mm, 250g, 5sec) の微針度

ストレート・アスファルト 150～200 に於ても，清水中，密閉器中及び空氣中に於ては 1 ケ月まであまり變化がない．日光下に於ては硬化急となる其の他の溶液中に於けるものも，清水中に於けるものと大同小異である．

(3) **ブローン・アスファルト 10～20 稠度變化**　ブローン・アスファルト 10～20 の 25°C 及び 1.0°C に於ける稠度の變化は第15表及び第16表，第14圖乃至第16圖の如くである．

第 15 表　ブローン・アスファルト，10～20 の 25°C 稠度の變化

(P…0, W…50 g, T…5 sec) の微針度

風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
0 日	65	65	65	65	65	65	65
3 〃	…	52	…	…	61	66	68
7 〃	…	48	…	…	65	64	…
15 〃	…	…	44	62	62	…	…
1 月	…	62	35	63	66	60	…
3 〃	48	60	11	53	64	63	…
6 〃	47	58	8	48	71	62	…
1 年	53	54	7	45	62	55	70

第 16 表　ブローン・アスファルト，10～20 の 1.0°C 稠度の變化

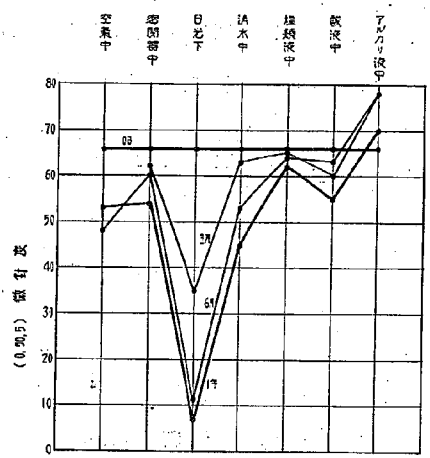
(P…0, W…150 g, T…5 sec) の微針度

風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
0 日	53	53	53	53	53	53	53
3 〃	…	50	32	46	…	47	55
7 〃	…	49	…	…	59	47	53
15 〃	…	55	26	54	…	45	54
1 月	49	60	20	58	52	49	55
3 〃	46	54	24	49	54	46	51
6 〃	50	60	9	44	58	57	…
1 年	50	66	6	45	43	48	58

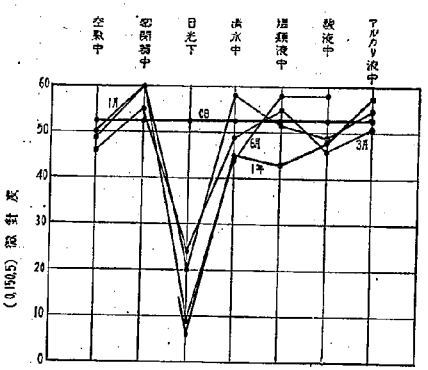
(P…0, W…250 g, T…5 sec) の微針度

0 日	76	76	76	76	76	76	76
3 〃	…	…	…	…	…	69	69
7 〃	…	…	…	…	82	74	64
15 〃	…	…	…	…	85	75	68
1 月	…	85	…	…	75	74	73
3 〃	…	80	56	78	76	72	71
6 〃	77	79	41	75	86	…	…
1 年	83	89	29	75	68	75	74

ブローン・アスファルト 10～20 についても密閉器中，清水中，空氣中のもの等に於て 1 ヶ月位迄はあまり稠度に變化がないが，日光下に於けるものは硬化速かである．其の他の溶液中に於ける試料は清水中に於ける試料と大同小異である．



第 14 圖　ブローン・アスファルト (10～20)
25°C 稠度變化
但し，(0mm, 50g, 5sec) の微針度

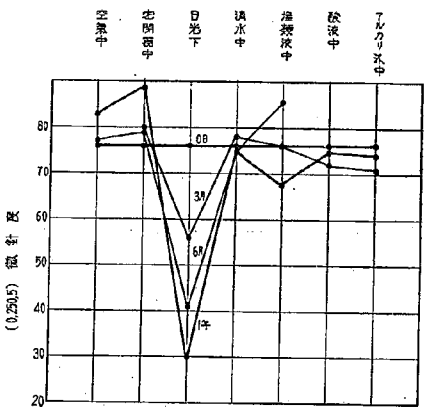


第 15 圖　ブローン・アスファルト (10～20)
1.0°C 稠度變化
但し，(0mm, 150g, 5sec) の微針度

上記の如く，アスファルトに於ては，ストレート・アスファルトであつても，ブローン・アスファルトであつても，日光下に曝露せらるゝ時は，時の經過と共に，漸次外觀的には其の光澤を失ひ，表面は粗鬆となり，炭化，酸化其の他の化學變化を生ずる．其の結果膠着性を減じ，硬質となり脆化する傾向が大である．重量變化より豫想せる所と微針度の測定とより見たる所とは略ゝ一致して居る．實驗室空氣中に於けるものは，日光下に於けるもの程甚しき變化を受くることはないが，やはり之に類する作用を受くるものであることが認められる．密閉器中ではよくその光澤を保ち，あまり化學的には變化を受けないが，幾分の表面硬化を免れなかつた．之は多少の空氣の流通及び光線の通過及び試驗の都度試料を外氣に曝せる等の原因によるもので，全く外氣と遮斷し，光線をさへぎりて暗所に試料を貯藏する時は，尙一層其の變化を減少せしめうべきものと想像せられる．清水中，鹽類溶液中，酸液中，アルカリ液中（溶液はいづれも 2.0% 以下の稀薄溶液で

ある）では稠度試験による性質の變化は少い．

上記の事實を通覽すれば，石油アスファルトは日光の直射する所に於て，其の變質が最も甚しく，其の他の場合には，化學的抵抗性が比較的大である．



第 16 圖　ブローン・アスファルト (10—20) 1.0°C 稠度變化
但し，(0mm, 250g, 5sec) の徹針度

［2］ 鋪裝用タールの稠度變化

（4） 常溫用タールの稠度變化　常溫用タール（4）の稠度は第 17 表乃至第 18 表及び第 17 圖，第 18 圖の如くである．

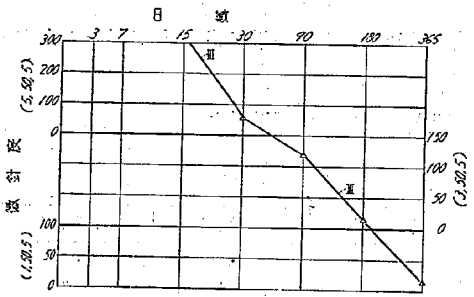
第 17 表　常溫用タール 25°C 稠度變化

風化期間	空氣中，密閉器中，清水中，鹽類液中，酸液中，アルカリ液中	日光下		
	5, 50, 5	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5
0 日	>300	>300	>300	>300
3 〃	〃	〃	〃	〃
7 〃	〃	〃	〃	〃
15 〃	〃	…	…	〃
1 月	〃	57	…	…
3 〃	〃	…	120	>200
6 〃	〃	…	15	144
1 年	〃	…	2	13
備考	幾分の硬化あるも徹針度測定不能	1 ケ月以後急速に硬化を表す．1 年後の試料はストレート・アスファルト 40—50 日光下 1 年後よりも硬質である．		

第 18 表　常温用タール 1.0°C 稠度變化

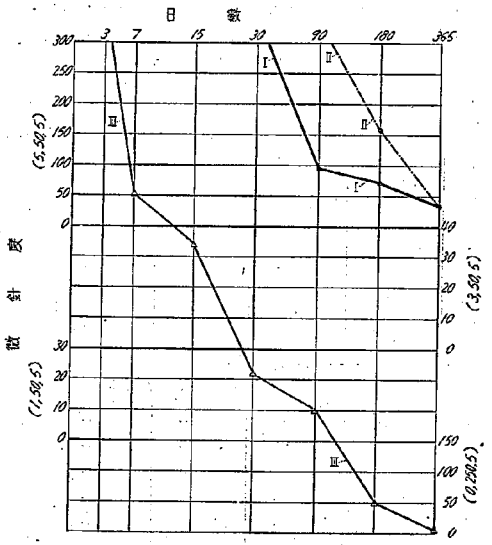
風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	空氣中	密閉器中	日光下	空氣中	密閉器中	日光下
	5, 50, 5			5, 50, 5			1, 50, 5		
0 日	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300
3 〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
7 〃	〃	〃	52	〃	〃	…	〃	〃	…
15 〃	〃	〃	…	〃	〃	34	〃	〃	…
1 月	〃	〃	…	〃	〃	…	〃	〃	22
3 〃	96	〃	…	〃	〃	…	〃	〃	10
6 〃	73	160	…	124	…	…	〃	〃	…
1 年	33	33	…	64	124	…	110	〃	…
			0, 50, 5			0, 250, 5			0, 350, 5
3 月			34			…			…
6 〃			11			…			…
1 年			…			4			9

第 17 表及び第 18 表によれば常温タール (4) に於ては，1 ヶ月迄は，清水中，各種溶液中，密閉器中，空氣中のものは，其の變化を知るに由なきも空氣中のものは幾分づゝ粘度を增加しつゝあり，空氣中 3 ヶ月に至れば，硬化を明かに示して居る．日光下のものは既に 7 日頃より硬化を明示し，急速に變化し 1 ヶ月に至れば，25°C ではストレート・アスファルト 150～200 (原試料) よりも堅く，1.0°C に於ては略ゝ同程度の稠度に達する．



第 17 圖　常温用タール (4) 25°C 微針度
(日光下試料)

日光下 3 ヶ月に於ては，25°C, 3 mm, 50 g, 5 sec の微針度約 120 にして，ストレート・アスファルト (150～200) よりも固く，日光下 6 ヶ月に於ては，25°C にて，(3, 50, 5), (1, 50, 5) の微針度夫ゝ 15, 144 にして，ストレート・アスファルト (40～50) に近似し，1 ヶ年後に於ては 25°C にて，(1, 50, 5) の微針度 13 を示し，ストレート・アスファルト (40～50) よりも遙かに固く，1.0°C にても，(0, 250, 5) の微針度 5 以下にして，甚しく硬化せることを示して居る．



第 18 圖　常温用タール(4) 1.0°C 徹針度
I　實驗室空氣中試料
II　密閉器中試料
III　日光下試料
備考　清水中，鹽類液中，酸液中，アルカリ液中に於ては 180 日後も尙 5 mm，50 g，5 sec の徹針度，300 以上の軟質を示す．

(5) 舖裝用タール(加熱路面處理用)の稠度變化　舖裝用タール (5) (加熱路面處理用) の稠度の變化は第 19 表及び第 20 表の如し．第 19 圖乃至第 21 圖參照．

第 19 表　加熱路面處理用タール 25°C 稠度變化

風化期間	空氣中，密閉器中，清水中，鹽類液中，アルカリ液中	日光下				
	5, 50, 5	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 50, 5	0, 150, 5
0 日	>300	>300	>300	>300	>300	>300
3 〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
7 〃	〃	…	…	…	…	…
15 〃	〃	…	…	…	…	…
1 月	〃	61.6	…	…	…	…
3 〃	〃	14	51	>200	…	…
6 〃	〃	…	34	88	…	…
1 年	〃	…	…	17	55	163
備　考	1 ケ年後も軟質にして徹針度測定不能	1 ケ月後に於て，ストレート・アスファルト 150～200 より硬く，6 ケ月後は，ストレート・アスファルト 40～50 よりも硬く，1 ケ年後，ブローン・アスファルト 10～20 程度の稠度を示して居る．				

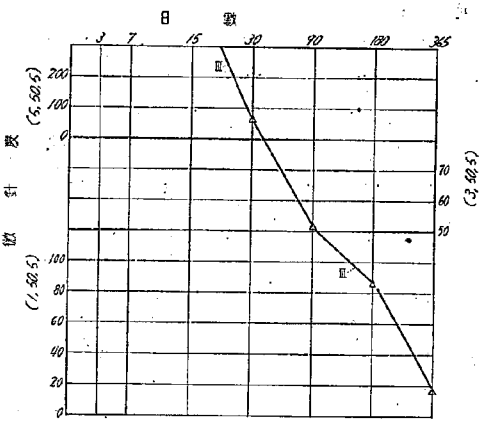
第 20 表　加熱路面處理用タール 1.0°C 稠度變化

風化期間	5, 50, 5 微針度						
	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
0 日	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300
3 〃	…	…	145	…	…	…	…
7 〃	130	…	18	…	…	…	…
15 〃	120	…	…	…	…	>200	…
1 月	117	137	…	…	…	150	250
3 〃	26	118	…	192	188	94	150
6 〃	21	62	…	73	81	103	83
1 年	14	6	…	55	38	25	32
	3, 50, 5 微針度						
7 日	…	…	33	…	…	…	…
15 〃	…	…	10	…	…	…	…
1 月	…	…	…	…	…	…	…
3 〃	54	…	…	…	…	167	…
6 〃	45	120	…	>120	…	137	…
1 年	20	22	…	71	66	53	…
	1, 50, 5 微針度						
15 日	…	…	22	…	…	…	…
1 月	…	…	3	…	…	…	…
3 〃	…	…	…	…	…	…	…
6 〃	…	…	…	…	…	…	…
1 年	78	110	…	…	172	>150	>150

	日光下試料の微針度			
	0, 50, 5	0, 150, 5	0, 250, 5	0, 350, 5
1 月	…	17	…	…
3 〃	…	…	86	…
6 〃	…	…	14	…
1 年	…	…	3	7

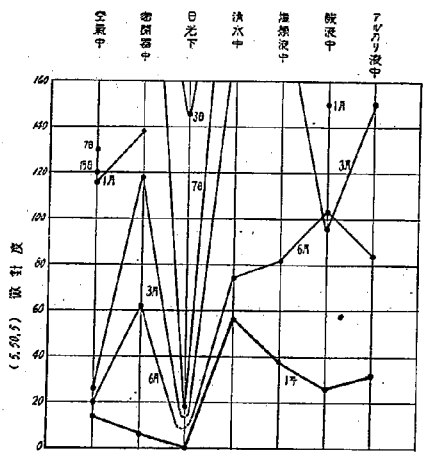
加熱路面處理用タール (5) に於ては，清水中，各種溶液中，密閉器中のものは，初めは其の變化を知る事不可能なるも，空氣中のものは，徐々に硬化しはじめ，7 日頃よりは其の傾向を明かに示し，1 ヶ月より 3 ヶ月に至る間に於て其の變化が甚しく認められる．3 ヶ月後の 1°C 稠度はストレート・アスファルト 40～50 の 25°C の稠度に近づく．

日光下では變化尚はけしく，既に3日目に於て，稠度の變化を示し，以後急激に硬化してゆくことを表して居る．7日に至れば空氣中3ヶ月のものよりも尚幾分硬化し其の1°C 稠度はストレート・アスファルト 40～50 の 25°C 稠度より硬質となり，15日に於ては尚硬化し，1ヶ月1°C に於ては ブローン・アスファルト 25°C よりも尚硬化する．又1ヶ月 25°C に於てはストレート・アスファルト 150～200 よりもやゝ硬化して居る．

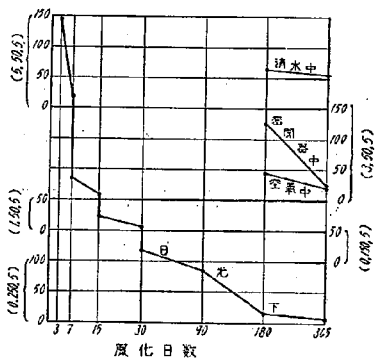


第 19 圖　加熱路面處理用タール(5)
25°C 微針度　(日光下試料)

日光下3ヶ月に至れば，25°C にて (3, 50, 5) の微針度 51 にして，ストレート・アスファルト (40～50) の稠度に近似し，1.0° C 稠度は (0, 250, 5) の微針度 86 にしてストレート・アスファルト (150～200)



第 20 圖　加熱路面處理用タール(5)
1.0°C 稠度變化
但し，(5mm，50g，5sec) 微針度



第 21 圖　加熱路面處理用タール(5)
1.0°C 稠度變化

に近似する.

6ヶ月に於ては, 25°C 稠度はストレート・アスファルト (40～50) の程度を示して居るが, 1.0°C 稠度は遙かに硬化し, 1年後には, 25°C 稠度及び 1.0°C 稠度共に遙かに硬質となり, 略〻常溫タールに類する稠度變化を示して居る.

(6) **鋪裝用タール (加熱混合マガタム用) の稠度變化**　鋪裝用タール (6) (加熱混合マカダム用) の稠度の變化は次の如し. 第 21 表, 第 22 表, 第 22 圖乃至第 24 圖參照.

第 21 表　加熱混合タール・マカダム用タール 25°C 稠度變化

風化期間	5, 50, 5 の 稠 度						
	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
0 日	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300
3 〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
7 〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
15 〃	〃	〃	142	〃	〃	〃	〃
1 月	〃	〃	58	〃	〃	〃	〃
3 〃	〃	〃	13	〃	〃	〃	〃
6 〃	197	…	…	〃	〃	〃	〃
1 年	150	152	10以下	>250	>250	>250	>250

日光下試料稠度變化

	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 50, 5	0, 150, 5
15 日	142	…	…	…	…
1 月	58	…	…	…	…
3 〃	13	27	75	…	…
6 〃	…	29	57	…	…
1 年	…	11	18	…	184

第 22 表　加熱混合マカダム用タール 1°C 稠度の變化

(P…3 mm, W…50 g, T…5 sec) 微針度

風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
0 日	43	43	43	43	43	43	43
3 〃	30	42	41	45	40	43	35
7 〃	28	41	10	43	40	44	34
15 〃	26	…	<10	34	36	35	28
1 月	20	37	極めて硬化	31	35	31	29
3 〃	…	26	…	24	23	22	22
6 〃	…	25	…	17	19	16	17
1 年	…	<10	…	8	7	10	6

(*P*…1 mm, *W*…50 g, *T*…5 sec) 微針度

風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
0 日	149	149	149	149	149	149	149
3 〃	…	113	…	150	137	131	128
7 〃	…	101	23	105	141	123	117
15 〃	…	75	4	113	138	100	121
1 月	…	89	…	92	102	86	104
3 〃	41	61	…	51	72	55	60
6 〃	36	59	…	24	52	38	30
1 年	20	10	…	21	18	24	21

(*P*…0, *W*…50 g, *T*…5 sec) 微針度

風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
1 月	…	…	3 以下	…	…	…	…
3 〃	…	…	…	70	…	…	…
6 〃	61	…	…	38	83	85	97
1 年	43	21	…	30	30	49	49

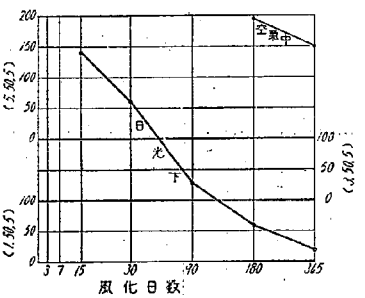
(*P*…0, *W*…150 g, *T*…5 sec) 微針度)

風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
1 月	…	…	…	…	…	…	…
3 〃	…	…	3 以下	…	…	…	…
6 〃	…	…	…	…	…	…	…
1 年	>200	165	…	>200	>200	>200	>200

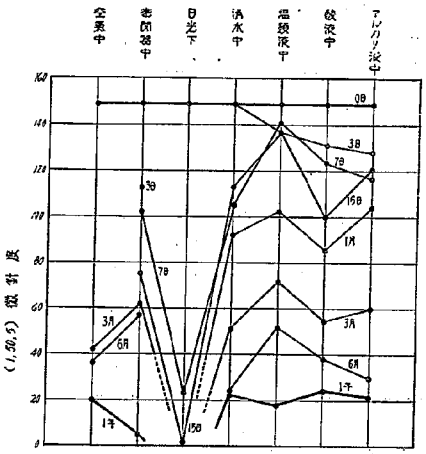
日光下試料微針度

風化期間	0, 250, 5	0, 350, 5
3 月	33	96
6 〃	13	17
1 年	3	6

第 21 表及び第 22 表によれば，空氣中，密閉器中，清水中，各種溶液中にては，少くも 1 ヶ月迄は，甚しく大なる變化はなく，唯±1°C 程度の上に多少の變化を認むるに過ぎない．



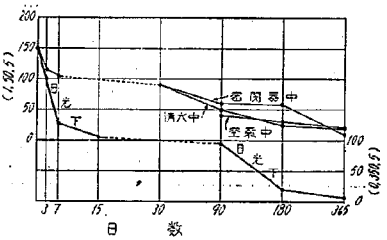
第 22 圖　加熱混合マカダム用タール(6)
25°C 微針度，日光下及空氣中試料



第 23 圖　加熱混合マカダム用タール(6)
1.0°C 稠度變化
但し，(1mm，50g，5sec) 徹針度

之等の試料は，3 ヶ月，6 ヶ月，1 年と日數の經つに從ひ，徐々に硬化するも，1 年後に於ては，25°C 及 1.0°C 稠度は共にアスファルト (150～200) よりも遙かに軟質である．

之に反し，日光下の試料は，急激に硬



第 24 圖　加熱混合マカダム用タール(6)
1.0°C 稠度變化
日光下，空氣中，密閉器中，清水中試料

化し，15 日に於て，25°C 稠度はストレート・アスファルト (150～200) に近似し，1 ヶ月に至れば，25°C 稠度はストレート・アスファルト (40～50) に近似し，3 ヶ月に至れば，25°C 及び 1.0°C 稠度は共にストレート・アスファルト (40～50) の稠度以上に硬化する．6 ヶ月，1 年に至れば稠度頗る固くなる．

(7) 舗裝用タール (加熱混合用) の稠度の變化　加熱混合用タール (7) の 25°C 及び 1.0°C の稠度の變化は第 23 表及び第 24 表，第 25 圖乃至第 27 圖の如くである．

第 23 表　加熱混合用タール 25°C 稠度變化
(P…5，W…50 g，T…5 sec) 徹針度

風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽水中	酸液中	アルカリ液中
0 日	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300
3 〃	〃	〃	…	〃	〃	〃	〃
7 〃	〃	〃	114	〃	〃	〃	〃
15 〃	〃	…	36	〃	〃	〃	〃
1 月	〃	200	10	〃	〃	〃	〃
3 〃	…	181	…	…	…	…	…
6 〃	151	200	…	>250	>220	約 250	>250
1 年	125	63	…	180	>220	150	176

日光下試料微針度

風化期間	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 50, 5	0, 150, 5
1 月	36	…	…	…
3 〃	13	29	141	…
6 〃	…	30	94	…
1 年	…	10	23	>200

第 24 表　加熱混合用タール 1.0°C 硬度變化

(P…1 mm, W…50 g, T…5 sec) 微針度

風化期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
0 日	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4
3 〃	18.0	32	21	35	29	31	32
7 〃	19.0	29	5	22	29	33	31
15 〃	18.5	…	6	23	25	29	27
1 月	16.7	25	…	21	17	24	30
3 〃	10	17	…	12	13	14	16
6 〃	…	…	…	8	6	12	13
1 年	…	…	…	…	…	5	…

(P…0, W…50 g, T…5 sec) 微針度

0 日	86.3	86.3	86.3	86.3	86.3	86.3	86.3
3 〃	…	…	…	…	97	81	84
7 〃	…	…	…	…	93	81	86
15 〃	…	…	…	…	78	60	68
1 月	…	47	…	…	50	43	69
3 〃	…	29	…	18	26	29	36
6 〃	13	23	…	14	17	22	27
1 年	11	7	…	9	6	6	7

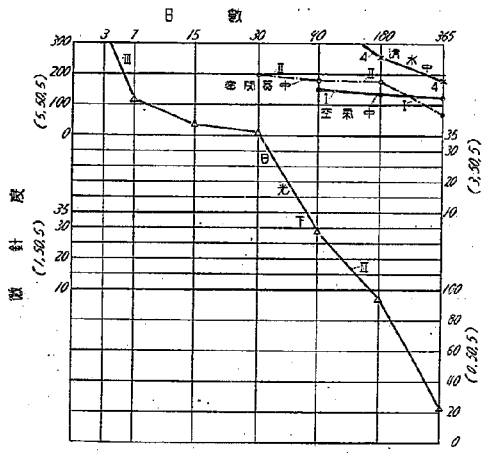
(P…0, W…150 g, T…5 sec) 微針度

3 月	103	156	2 以下	126	186	170	約 200
6 〃	86	135	…	75	155	166	156
1 年	62	30	…	42	35	31	71

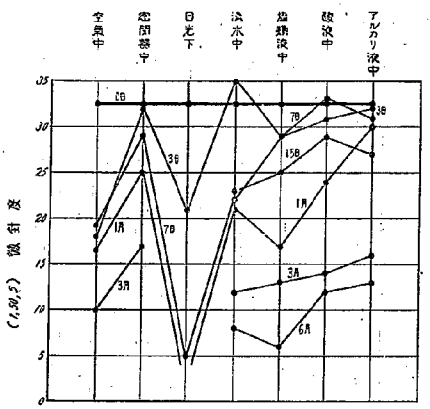
このタールについても，清水中，各種溶液中，密閉器中，空氣中のものは 1 ヶ月まで大なる變化なく，其の後は徐々に硬化するも其の程度は激しくない．空氣中及び密閉器中試料は 1 ヶ年に於ては，ストレート・アスファル

日光下試料微針度

風化期間	0, 150, 5	0, 250, 5	3, 350, 5
3 月	2 以下	2	43
6 〃	…	2	8
1 年	…	…	9



第 25 圖 加熱混合用タール (7)
25°C 微針度



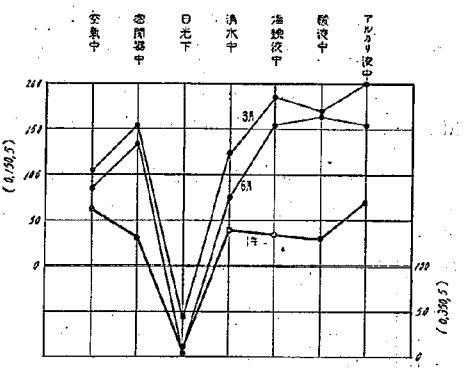
第 26 圖 加熱混合用タール(7) 1.0°C 稠度變化
但し, (1, 50, 5) 微針度

ト 150～200 の稠度に近づく. 日光下試料は, 變化甚しく, 既に15日にしてストレート・アスファルト 150～200 よりも硬くなり, 1 ヶ月後は, ストレート・アスファルト 40～50よりも硬くなる. この時の重量變化は −4.92％ である. 蒸溜試驗成績に比較すれば, 單なる蒸溜によりては 270°C迄に於て既に5.54％ を溜出し, 30 日, 日光下風化による試料の重量減はこれよりも小である. 蒸溜による 300°C 溜出量は13.54％に達し, 然も其の殘留物軟化點 (R & B) は 50.5°C にして, ストレート・アスファルト 針度 40～50 のものと略〻類似する點より考ふれば, 270°C 殘留物は, 其の軟化點遙かに低く (推定37.2°C) 其の稠度はアスファルト針度 40～50 よりも低きものと考へらる.

これ等の事柄より推察して日光下タール試料の硬化は單に揮發成分の蒸發にのみよるものに非ざることを豫想し得られる. 同試料空氣中 3 ヶ月のものは, 其の重量減少は僅かに −0.18 ％ に過ぎざるに拘らず, 稠度の變化に於ては著しきものあることより考察して, タールの硬化が揮發成分の蒸發以外の作用にも由ることは明かである.

上記各種タールの稠度の變化を見るに, 石油アスファルト に比すれば, タールの變化は

概して多い．清水中及び各種溶液中に於てもアスファルトよりも硬化の程度が激しい．之をタールのみについて考ふれば，清水中，各種溶液中及び密閉器中空氣中のものは其の變化は比較的徐々であつて，日光下の試料は著しい硬化を示し，1ヶ年後に於ては 25°C に於ける稠度が，アスファルト 40～50 の稠度よりも硬質に化するものがあり，1.0°C の稠度は極めて硬質となる．又各種タールを相互間に比較すれば，日光下試料にありては，1ヶ年後の稠度は最初の試料の稠度には關係なく，むしろ揮發殘留物の性狀に支配せらるゝもの>如くである．後述の如く 300°C 蒸溜殘留物の軟化點高きものは，概して極端なる硬化を行ふもの>様である．



第 27 圖　加熱混合用タール (7) 10°C 稠度變化
但し，(0, 150, 5) 及 (0, 350, 5) 微針度

(8) 各試料の日光下に於ける稠度變化　上記の試驗成績が示すが如く日光下に於ける試料は，一般に其の性狀の變化の甚しいのが目につく．今日光下に曝露したるもの>みを取り纏めて其の稠度の變化を比較して見ると第 25 表乃至第 28 表の如くである．

第 25 表　日光下アスファルトの25°C稠度變化

風化期間	ストレート・アスファルト 150～200		ストレート・アスファルト 40～50		ブローン・アスファルト 10～20		
	5, 50, 5	3, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 50, 5	0, 150, 5	0, 250, 5
0 日	76.0	152	45.9	119	65.4	…	…
3 日	60.2	…	44.1	…	65.4	…	…
7 日	7.1	…	44.6	…	…	…	…
15 日	…	71.1	36.7	…	44.0	…	…
1 月	…	45.9	46.1	…	34.6	…	…
3 月	…	23.5	29.6	58.0	11.3	112.8	…
6 月	…	29.0	26.4	55.4	7.5	96.8	…
1 年	…	11.0	20.1	47.0	7.0	71.0	142

第 25 表はアスファルトの 25°C 稠度の變化を示したものであるが，ストレート・アスファルト (150～200) にありては，(3 mm, 50 g, 5 sec) の微針度は最初 152 なりしものが，日數と共に漸減して 11 となり，相當の硬化を示して居る．ストレート・アスファルト

(40～50) に於ては，同一條件の下に於ける微針度は 45.9 より 20.1 に減じて居るが，前者に比すれば其の稠度變化の率は遙かに少い．この事はアスファルトの針度の差によるものでなく，其の成分（尚さかのぼつて考ふれば，原油の性質及び製法）の相違によるものと想像せられる．ブローン・アスファルトにありても時と共に硬化する傾向が認められる．

第 26 表　日光下アスファルトの 1.0°C 稠度變化

風化期間	ストレート・アスファルト 150～200			ストレート・アスファルト 40～50		ブローン・アスファルト 10～20		
	0, 150, 5	0, 250, 5	0, 350, 5	0, 250, 5	0, 350, 5	0, 150, 5	0, 250, 5	0, 350, 5
0 日	78.5	…	…	34.3	…	52.5	…	…
3 日	…	…	…	…	…	32.4	…	…
7 日	65.0	…	…	…	…	32.4	…	…
15日	63.8	…	…	…	…	26.4	…	…
1 月	46.3	…	…	…	…	20.0	…	…
3 月	45.5	83.7	…	29.5	…	23.7	56.2	…
6 月	29.8	62.6	…	10.2	…	9.0	40.7	…
1 年	12.8	50.6	97.9	9.0	29.3	6.0	28.6	55.6

第 26 表はアスファルトの 1.0°C 稠度變化を示したものであるが，ストレート・アスファルト (150～200) については 25°C の場合と同様に相當の硬化が認められる．ストレート・アスファルト (40～50) については硬化の程度は前者より稍少い様である．ブローン・アスファルトについても相當硬化の傾向が認められるが，25°C の稠度がストレート・アスファルト (40～50) よりも遙かに硬質であるにも拘らず，1.0°C に於ける稠度は之よりも遙かに軟質で，日光下風化後 1 年を經るも尚この關係は依然として存在して居ることが認められる．即ちストレート・アスファルトに比して，ブローン・アスファルトは日光下風化後も其の特徴即ち溫度に對する感受性の少いことを示して居る．

第 27 表は，鋪裝用タールの 25°C 稠度變化を示したものであるが，曝露前の試料はいづれも軟質で，徑 5mm のプランジヤーを以てしては，其の微針度測定は不可能であつたが，最も軟質なるタール (4) に於て，1 ヶ月後に至り (5 mm, 50 g, 5 sec に於て)，微針度 57 を示し，著しき硬化を表して居る．即ち最初液狀をなせる試料は，1 ヶ月にしてストレート・アスファルト (150～200) よりもやゝ硬質の半固體に變化せるを示して居る．6 ヶ月後に於ては (3 mm, 50 g, 5 sec) の微針度 15.4 にしてストレート・アスファルト (40～50) よりも硬質に變化して居る．1 ヶ年後に於ては (0 mm, 50 g, 5 sec) の微針度 23 にしてブローン・アスファルト (10～20) よりも硬質化して居る．即ち，前述の如くアスファルトに於ても日光風化により硬化の傾向は認められるが，タールに於ては其の硬化の程度は甚しく大で，最初液狀を呈して居たものと雖も 1 ヶ年風化に於て既に，其の 25°C

稠度がブローン・アスファルト(原試料)の 25°C 稠度よりも硬質となる場合があることを示して居る．

第 27 表　日光下鋪裝用タールの 25°C 稠度變化

風化	(4) 常温用タール				(5) 加熱(路面處理)用タール			
期間	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 50, 5	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 50, 5
0 日	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300
3 〃	>300	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
7 〃	>300	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
15 〃	…	…	…	…	…	…	…	…
1 月	57	…	…	…	61.6	…	…	…
3 〃	11	120.3	>200	…	14.4	51.0	>200	…
6 〃	…	15.4	144	…	…	33.6	88	…
1 年	…	2.0	13	23	…	8	17	55
1 年				(0, 150, 5) 140				(0, 150, 5) 163

風化	(6) 加熱(混合マカダム)用タール				(7) 加熱(混合)用タール			
期間	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 50, 5	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 50, 5
0 日	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300
3 〃	〃	〃	〃	〃	〃	…	…	…
7 〃	〃	〃	〃	〃	114	…	…	…
15 〃	141.7	…	…	…	35.7	…	…	…
1 月	57.7	…	…	…	9.5	36	…	…
3 〃	12.6	27.3	75.4	…	…	13.2	28.8	141
6 〃	…	29.0	56.7	…	…	…	29.9	94
1 年	…	11.0	18.0	…	…	…	10.0	23
1 年				(0, 150, 5) 184				(0, 150, 5) >200

同じタールに就て 1.0° の稠度の變化を見るに，第 28 表の如く，最初測定不能の半液狀をなせる試料(4)は 7 日後に至り，(5 mm, 50 g, 5 sec) の微針度 52.4 を示し，著しい硬化を示して居り，其後急速に硬化し，1 年後に於ては，ストレート・アスファルト(150～200) の 1 年後の稠度よりも尙硬質化して居る．

タール(5)に就ては，日數の經過と共に急速に硬化することはタール(4)と同樣で，其の 25°C 稠度に就て見れば，1 ヶ月に於てストレート・アスファルト(150～200) の稠度よりも硬質となり，1 年後に於ては，ストレート・アルファルト (40～50) の 1 年後の稠度より硬質となつて居る．1.0°C 稠度に就ては，3 ヶ月後に於て略ストレート・アスファルト (150～200) の 3 ヶ月後稠度に類似し，6 ヶ月後はストレート・アスファルト (40～50)

第 28 表　日光下鋪裝用タールの 25°C 稠度變化

風化期間	(4) 常温タール				(5) 加熱(路面處理)用タール			
	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 50, 5	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 150, 5
0 日	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300
3 〃	>300	〃	〃	〃	145	…	…	…
7 〃	52.4	>300	〃	〃	18.3	32.6	…	…
15 〃	…	34.1	…	…	…	9.9	22.0	…
1 月	…	…	22.2	…	…	…	2.5	16.7
3 〃	…	…	10.2	34.3	…	…	…	…
	0, 50, 5	0, 150, 5	0, 250, 5	0, 350, 5	0, 50, 5	0, 150, 5	0, 250, 5	0, 350, 5
3 月	34.3	>100	…	…			86	
6 〃	11.0	…	…	…	…		13.8	
1 年	…	3.0	3.8	9.2	…		2.7	6.6

風化期間	(6) 加熱(混合マカダム)用タール				(7) 加熱(混合)用タール			
	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 150, 5	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 150, 5
0 日		42.5	149	…	…	…	32.4	…
3 日		40.8	…	…	…	…	20.8	…
7 日		9.6	23.1	…	…	…	4.7	…
15 日	…	…	4.3	…	…	…	6.0	…
1 月	…	…	…	3.8	…	…	…	3.0
3 月	…	…	…	…	…	…	…	2.0以下
	0, 50, 5	0, 150, 5	0, 250, 5	0, 350, 5	0, 50, 5	0, 150, 5	0, 250, 5	0, 350, 5
3 月	…	3 以下	32.8	96	…	2 以下	2.5	43.0
6 月	…	…	12.8	17.2	…	…	1.5	8.0
1 年	…	…	3.0	6.1	…	…	…	9.0

6 ヶ月後の稠度に類似し，1 年後に於ては，アスファルトの 1 年後の稠度よりも硬化して居る．

タール (6)，タール (7) について見るも，日數の經過に從つて，其の 25°C 稠度及び1.0°C 稠度の硬化の急激なることは略同樣で，6 ヶ月後及び 1 年後の 1.0°C の稠度はアスファルトの 6 ヶ月後，1 年後の稠度よりも硬質になつて居る．

之を要するに，タールは日光下に於ては，アスファルトに比し甚しく急速に硬化し，場合によりては風化後はアスファルトよりも硬質となることがある．尙 4 種のタールの間に於て稠度變化を比較して見ると，最初の試料はタール (4) よりタール (7) に至る順位に從ひ，其の稠度は硬質のものとなつて居るが，其の硬化の速度は同樣ではなく，1 年後に於て

は，最初軟質の試料が，必ずしも軟質であるとは言へない．

但し，上記の事實は試料が薄層に於て日光の風化を受けたる場合に限るもので，試料の層の厚き場合の内部にある部分，或は鋪裝の内部或は下部にあるタールに對しては，日光の作用が及び難い爲，上記の如き甚しい變化現象が起るものとは考へられない．

V. 薄層の成分の變化，軟化點の變化；竝にタール蒸溜殘留物の成分，軟化點，稠度等との比較考察

上記の如く，各試料を諸種の條件の下に放置する時は，其の重量，稠度の變化等より，其所に酸化，重合，解重合，炭化，蒸發，溶出，吸水，其の他の化學的或は物理的現象の行はるゝことを推想することが出來るが，尚直接に之等の現象を確むる爲，6 ケ月後，1 年後の試料につき，カービン（アスファルトに就き），遊離炭素（タールに就き），軟化點（R & B）等を測定したるに次の如き結果を得た．

但し，これ等の試驗は 2～3mm の厚さを有する試料を，熔融してよく攪拌せる後行ひたるもので，薄層の表面部と下部との相違あるものに對する平均値を與ふるものである．從つて微針度試驗の結果とは必ずしも並行しない點がある．

[1] アスファルト中カービンの量

アスファルト中のカービンの量は第 29 表乃至第 31 表の如し．カービン測定の方法は本所標準方法に從つた．

第 29 表　ストレート・アスファルト 40～50 カービン量

	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
	%	%	%	%	%	%	%
0 日	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
6 月	0.10	0.26	0.23	0.31	0.23	0.23	0.21
1 年	0.35	0.38	1.10	0.32	0.30	0.31	0.39

第 30 表　ストレート・アスファルト 150～200 カービン量

	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
	%	%	%	%	%	%	%
0 日	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
6 月	0.06	0.41	0.22	0.44	0.22	0.19	0.22
1 年	0.44	0.42	1.20	0.38	0.31	0.34	0.28

第 31 表　ブローン・アスファルト 10～20 カービン量

	空氣中	密閉器中	日光下	清水下	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
	%	%	%	%	%	%	%
0 日	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
6 月	0.30	0.54	0.31	0.49	0.34	0.35	0.34
1 年	0.52	0.55	0.99	0.45	0.42	0.43	0.54

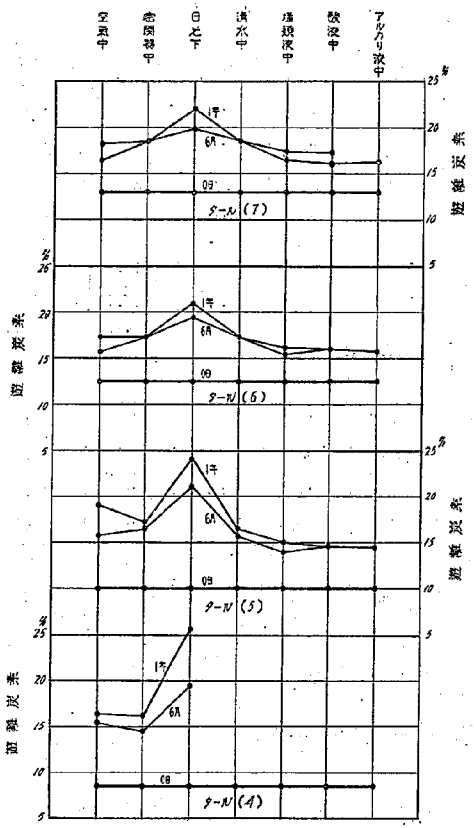
上記第 29 表乃至第 31 表によれば，アスファルト中のカービンの量は風化によりて一般に增加する傾向が見られる．而して空氣中に放置せるものに於てこの傾向はやゝ大であり，日光下風化のものは其の增加率が最も大である．之によつて見るもアスファルトの變質に對し日光は最も關係深きことが窺知せられる．

［2］ タール中遊離炭素の量

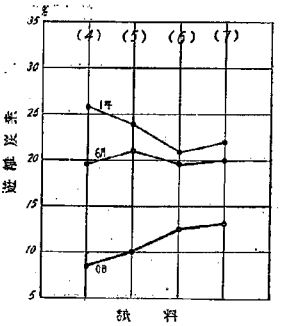
タール中の遊離炭素の量は第32表及び第28圖，第29圖に示すが如く，一般に期間の經過すると共に增加して居る．日光下試料にありては殊に其の增加が顯著である．(第29圖及び第31乃至33圖) に於て見るが如く，遊離炭素の增加率は，單に重量減少率より算出せる增加率よりは遙かに大であつて，そこに化學的の變化が行はれたことが明かである．而して本實驗の範圍內では液狀乃至軟質タールに於てこの變化が特に激甚なることが認められる．

第 32 表　タ ー ル 中 遊 離 炭 素

	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
タール (4) 0 日	8.39	8.39	8.39	8.39	8.39	8.39	8.39
タール (4) 6 月	15.26	14.48	19.45	試驗せず		…	…
タール (4) 1 年	16.39	16.12	25.72			…	…
タール (5) 0 日	10.11	10.11	10.11	10.11	10.11	10.11	10.11
タール (5) 6 月	15.67	16.37	20.98	15.36	14.03	14.54	14.46
タール (5) 1 年	17.84	17.06	23.91	15.64	14.82	14.54	17.44
タール (6) 0 日	12.42	12.42	12.42	12.42	12.42	12.42	12.42
タール (6) 6 月	15.75	17.29	19.51	17.22	15.04	16.13	15.78
タール (6) 1 年	17.32	17.20	20.90	16.90	16.01	16.00	17.59
タール (7) 0 日	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90
タール (7) 6 月	16.44	18.55	19.86	18.57	16.35	16.15	16.35
タール (7) 1 年	17.72	18.56	21.81	18.12	17.28	17.38	17.22



第 28 圖　各種タール風化殘留物中の遊離炭素の量



第 29 圖　各種タール日光下風化殘留物中の遊離炭素の量

［3］アスファルト及びタールの軟化點 (R & B)

アスファルト及びタールの軟化點の變化は第 33 表，第 30 圖の如し．

第 33 表及び第 30 圖に依ればアスファルトの軟化點は一般に甚しい變化を認めないが，日光下風化物に於てはやゝ上昇の傾向が見られる．

各種タール風化物の軟化點は既に第 5 圖 A_1 に示してある．

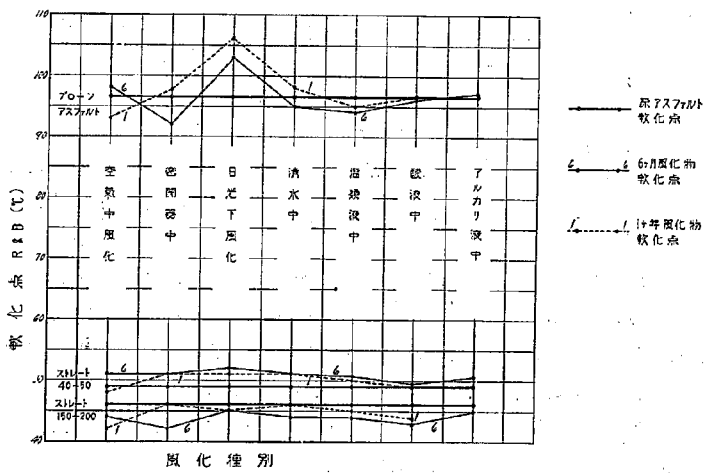
又第 33 表及第 35 圖乃至第 38 圖に於けるが如く，タールの軟化點は期間の經過と共に上昇することが顯著である．

而して其の軟化點の上昇率は日光下の試料に於て特に激甚であり，其の中液狀乃至比較的軟質のタールに於て極端なる硬化現象が認められ，1 ヶ年の日光風化後に於ては，硬質タールよりも却つて液狀乃至軟質タールの方が軟化點高きに及んで居る．

この點より考ふる時は，少くもタールをシール・コート或は路面處理等に使用する場合に，液狀乃至軟質製品を用ふるは，單に施工を容易ならしむるを目的とするものに過ぎずして，施工後 1 年以上經過せる後の路面に於けるタールの稠度を軟質に保たんとする目的

第 33 表 アスファルト及タール軟化點

	期間	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
アスファルト 46 49.0°C	6月	51.0	51.0	52.0	51.0	50.5	49.5	50.5
	1年	48.0	51.0	51.0	51.0	50.0	49.0	50.0
アスファルト 163 46.0°C	6月	44.0	42.0	45.0	44.0	44.0	43.0	45.0
	1年	42.0	46.0	45.0	46.0	45.0	44.0	45.0
アスファルトブローン・シ 96.5°C	6月	98.0	92.0	103.0	95.0	94.0	96.0	97.0
	1年	93.0	98.0	106.0	98.0	95.0	96.0	96.0
タール(4) 液狀	6月	<10.0	<10.0	33.0	試驗せず			
	1年	21.0	17.0	57.0				
タール(5) 4.0°C	6月	18.0	10.0	40.5	15.0	15.0	約12	12.0
	1年	25.0	23.0	53.5	21.0	16.0	15.0	21.0
タール(6) 22.0°C	6月	25.0	21.0	41.0	26.0	24.0	25.0	27.0
	1年	31.0	30.0	50.0	28.5	27.0	26.0	30.0
タール(7) 28.0°C	6月	30.0	29.0	44.5	30.5	30.0	30.0	31.0
	1年	34.0	35.0	53.0	32.0	31.0	31.0	34.0



第 30 圖 各種アスファルト風化殘留物の軟化點變化

には沿はざるものである．寧ろ1ヶ年以上の後に於て脆化せざることを望む場合には硬質タール中の良質のものを選ぶを得策とすべし．

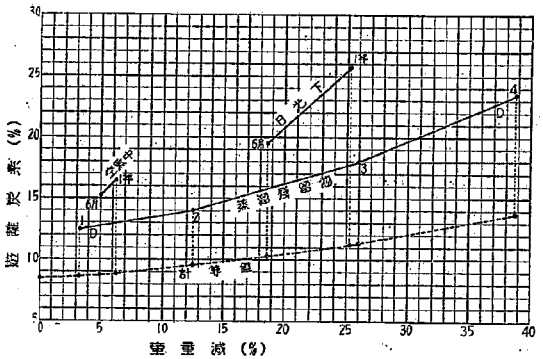
而して1ヶ年以上日光風化を受けたるタールは，其の軟化點に關する限り，通常の鋪裝用アスファルト(針度40～50)よりも硬質のものに化する場合あるは注意すべき事なりとす．

［4］タール蒸溜殘留物の成分及軟化點等と風化殘留物の夫等との比較

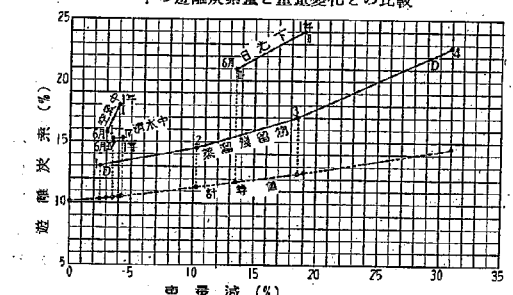
上記の如くアスファルトに於ても，タールに於ても，長時間放置する時は，概して其の表面の硬化する傾向があることは事實であるが，其の中日光下及び空氣中に曝露せるものは，其の變化が最も甚しい．而してアスファルトとタールとを比較するにアスファルトは

第34表　タール蒸溜殘留物の量及性質

試料	項目		原タール	235°C	270°C	300°C	325°C
タール(4)	殘留物	%	100.00	97.15	87.39	74.18	61.23
	重量減	%	3.00	2.85	12.61	25.82	38.77
	殘留物軟化點	°C	液狀	液狀	15.0°C	30.0°C	49.0°C
	同 遊離炭素實測値	%	8.39	12.52	13.89	17.83	23.42
	同 同 計算値	%	8.39	8.64	9.60	11.30	13.70
	同 差	%	0.00	3.88	4.29	6.53	9.72
	同 差 比		0.00	0.45	0.51	0.58	0.71
タール(5)	殘留物	%	100.00	97.47	89.68	81.63	68.68
	重量減	%	0.00	2.53	10.32	18.37	31.32
	殘留物軟化點	°C	4.0°C	11.0°C	25.0°C	37.0°C	61.0°C
	同 遊離炭素實測値	%	10.11	12.90	14.62	16.81	23.83
	同 同 計算値	%	10.11	10.37	11.28	12.40	14.65
	同 差	%	0.00	2.53	3.34	4.41	9.18
	同 差 比		0.00	0.24	0.30	0.36	0.63
タール(6)	殘留物	%	100.00	97.95	91.25	87.12	78.92
	重量減	%	0.00	2.05	8.75	12.88	21.08
	殘留物軟化點	°C	22.00	28.0	40.0	44.0	64.0
	同 遊離炭素實測値	%	12.42	15.48	19.10	21.67	27.08
	同 同 計算値	%	12.42	12.68	13.61	14.26	15.75
	同 差	%	0.00	2.80	5.49	7.41	11.33
	同 差 比		0.00	0.22	0.40	0.52	0.72
タール(7)	殘留物	%	100.00	98.23	93.73	87.39	81.43
	重量減	%	0.00	1.77	6.27	12.61	18.57
	殘留物軟化點	°C	28.0	33.0	41.0	48.0	66.0
	同 遊離炭素實測値	%	12.90	17.81	21.92	26.70	31.34
	同 同 計算値	%	12.90	13.15	13.75	14.75	15.85
	同 差	%	0.00	4.66	8.17	11.95	15.49
	同 差 比		0.00	0.35	0.59	0.81	0.98



第31圖 タール(4)の蒸溜殘留物及風化殘留物中の遊離炭素量と重量變化との比較

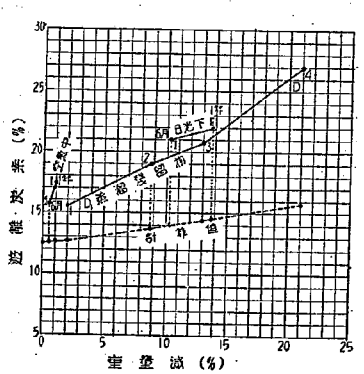


第32圖 タール(5)の蒸溜殘留物及風化殘留物中遊離炭素量と重量變化との比較

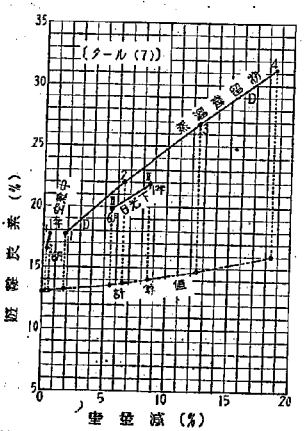
揮發成分なく，單に化學的變化に依つてのみ硬化するものにして，其の程度はタールに比較すれば遙かに少い．

タールは揮發分に富むを以て，揮發分の發散に依つて，其の殘留物が硬化することは事實であるが，タールの硬化が單に揮發分の發散にのみよるものなるか，將之と同時に化學的硬化現象も行はるゝものなるかは確めおく必要のある事柄である．

今タールの諸種溫度に於ける蒸溜殘留物に就き，其の微針度，軟



第33圖 タール(6)の蒸溜殘留物及風化殘留物中遊離炭素量と重量變化との比較



第34圖 タール(7)の蒸溜殘留物及風化殘留物中遊離炭素量と重量變化との比較

化點，遊離炭素等を見，之と空氣中及び日光下硬化物の微針度，軟化點，遊離炭素等との比較を取ることによりこの關係は明かになる．

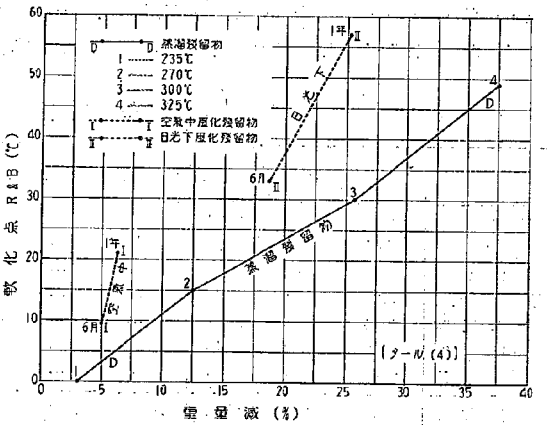
上記4種のタールを蒸溜し，其の各溫度に於ける殘留物の量，其の軟化點，遊離炭素，等を表示すれば第 34 表の如くである．第 34 表中遊離炭素の計算値は，蒸溜により新に遊離炭素が生成せず，且つ遊離炭素はすべて殘留物中に殘るものと假定して，殘留物中の遊離炭素の量を算出せる値である．この計算値と實測値とを比較すれば，實測値は遙かに計算値よりも高く，其の差は蒸溜溫度が高くなる程增加して居る．この事實は，蒸溜の際

第 35 表　タール6ケ月風化殘留物の量及性質

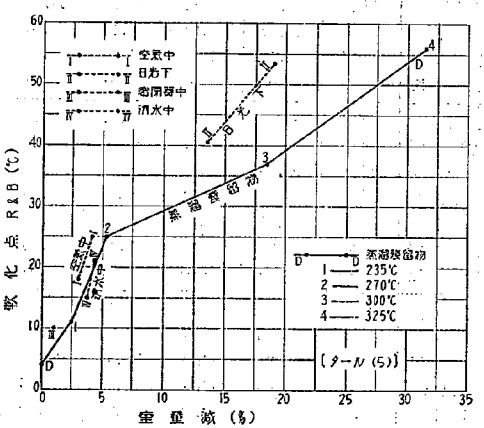
試料	項目	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
タール(4)	風化殘留物%	94.96	97.85	81.29	…	…	…	…
	重量減%	5.04	2.15	18.71	…	…	…	…
	殘留物軟化點	<10°C	…	33.0	…	…	…	…
	同 遊離炭素實測値%	15.26	14.48	19.45	…	…	…	…
	同 同 計算値%	8.84	8.58	10.32	…	…	…	…
	同 差%	6.42	6.90	9.13	…	…	…	…
	同 差比	…	…	…	…	…	…	…
タール(5)	風化殘留物%	96.92	99.08	86.62	96.63	96.64	97.22	99.56
	重量減%	3.02	0.92	13.38	3.37	3.36	2.78	0.44
	殘留物軟化點	18.0°C	10.0	40.5	15	15.0	12	12
	同 遊離炭素實測値%	15.67	16.40	20.98	15.69	14.03	14.54	14.46
	同 同 計算値%	10.43	10.20	11.68	10.46	10.46	10.40	10.16
	同 差%	5.24	6.20	9.30	5.23	3.57	4.14	4.30
	同 差比	…	…	…	…	…	…	…
タール(6)	風化殘留物%	99.31	99.90	89.74	98.74	99.44	99.55	99.51
	重量減%	0.69	0.10	10.26	1.26	0.56	0.45	0.49
	殘留物軟化點	25°C	21.0	41.0	26.0	24.0	25.0	27.0
	同 遊離炭素實測値%	15.75	17.68	19.51	17.46	15.04	16.13	15.78
	同 同 計算値%	12.50	12.43	13.84	12.59	12.50	12.48	12.49
	同 差%	3.25	5.25	5.67	4.87	2.54	3.65	3.29
	同 差比	…	…	…	…	…	…	…
タール(7)	風化殘留物%	99.77	99.96	94.50	99.39	99.77	99.71	…
	重量減%	0.23	0.04	5.50	0.61	0.23	0.29	…
	殘留物軟化點	30°C	29.0	44.5	30.5	30.0	30.0	31.0
	同 遊離炭素實測値%	16.44	19.04	19.86	18.85	16.35	16.15	16.35
	同 同 計算値%	12.92	12.90	13.66	12.97	12.92	12.93	…
	同 差%	3.52	6.14	6.20	5.88	3.43	3.22	…
	同 差比	…	…	…	…	…	…	…

の加熱に依り，揮發油分の溜出が行はるゝと共に，蒸溜レトルト内に殘れる部分が加熱分解を受け新に遊離炭素を生じたるものなることを示し，其の變化は溫度の高き程激しきことを物語るものである．從つてこゝに得らるゝ蒸溜殘留物は，タール中より揮發分を單に除去せる殘留物よりもやゝ硬質となれるものなることが推測せられる．

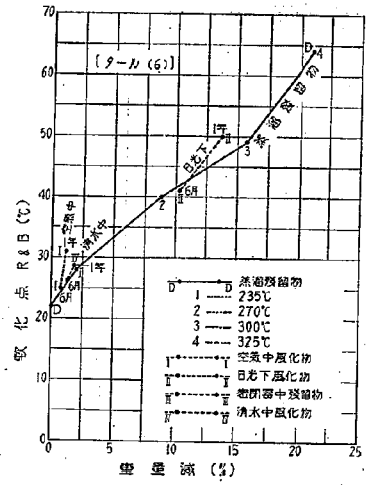
上記の事實は第 31 圖乃至第 34 圖に示したる如くで，同圖中フル・ラインは實測値，



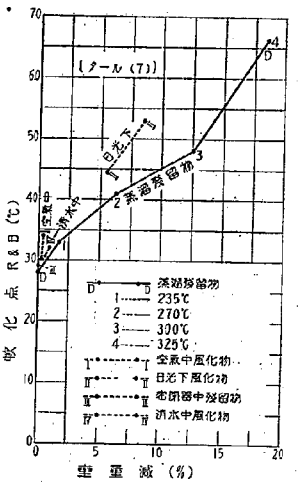
第 35 圖　タール (4) 蒸溜殘留物及風化殘留物軟化點と重量變化との比較



第 36 圖　タール (5) 蒸溜殘留物及風化殘留物の軟化點と重量變化との比較



第 37 圖　タール (6) 蒸溜殘留物及風化殘留物の軟化點と重量變化との比較



第 38 圖　タール (7) 蒸溜殘留物及風化殘留物の軟化點と重量變化との比較

プロークン・ラインは計算値を示す.

次に，空氣中 6 ヶ月，密閉器中 6 ヶ月，日光下 6 ヶ月，清水中 6 ヶ月等の風化物につき，其の重量減，殘留物量 (%)，軟化點，遊離炭素等を測定しこれを表示すれば第35表の如くである．空氣中及び密閉器中，清水中及び日光下に於ては甚しく遊離炭素が增加し，其の程度は，其の重量の變化に比して，蒸溜試驗殘留物に於けるよりも一層激しいものがある．

之を換言すれば，空氣中，ことに日光下に於ては，單に揮發成分の發散が行はるゝのみならず，これと同時にタールの成分上に化學變化が起り，炭化現象が著しく促進せらるゝものであることが明かである．この事柄は第 31 圖乃至第 34 圖を比較することによりて一層明瞭となる．

更に各溫度に於ける蒸溜殘留物及び風化殘留物 (6 ヶ月) の軟化點を圖示すれば，第 35 圖乃至第 38 圖の如くであつて，密閉器中に於けるものは，すべての變化少く，從つて軟化點も原タールとあまり變化なけれども，清水中 6 ヶ月，空氣中 6 ヶ月のものは，やゝ軟化點の上昇を見，日光下 6 ヶ月のものにありては，其の重量減少は，300°C 蒸溜殘留物に比して遙かに少きにかゝはらず，其の軟化點は或はこれより高きか又は略ゝ之に接近した値を示し，甚しく硬化せることを明示して居る．

同樣にして 1 ヶ年の風化後の殘留物の量及び性質を表示すれば，第 36 表の如くで，大體 6 ヶ月風化物について述べたる如き傾向が一層顯著に現れて居る．卽ち日光下風化物に

第 36 表　タール 1 ケ年風化殘留物の量及性質

試料	項目	空氣中	密閉器中	日光下	清水中	鹽類液中	酸液中	アルカリ液中
タール(4)	風化殘留物 %	93.80	93.23	74.80	…	…	…	…
	重量減 %	6.20	6.77	25.20	…	…	…	…
	殘留物軟化點 °C	21.0	17.0	57.0	…	…	…	…
	同 游離炭素實測値%	16.39	16.12	25.72	…	…	…	…
	同 同 計算値 %	8.95	8.35	11.22	…	…	…	…
	同 差	7.44	7.77	14.50	…	…	…	…
タール(5)	風化殘留物 %	95.89	95.18	81.06	95.72	95.24	94.27	101.54
	重量減 %	4.11	4.82	18.94	4.28	4.76	5.73	− 1.64
	殘留物軟化點 °C	25.0	23.0	53.5	21.0	16.0	15.0	…
	同 游離炭素實測値%	17.84	17.06	23.91	15.64	14.82	14.54	…
	同 同 計算値 %	10.54	10.61	12.36	10.56	10.50	10.52	9.94
	同 差	7.30	6.45	11.55	5.08	4.32	4.02	…
タール(6)	風化殘留物 %	98.91	97.97	86.24	98.17	98.52	98.49	102.41
	重量減 %	1.09	2.03	13.76	1.83	1.48	1.51	− 2.41
	殘留物軟化點 °C	31.0	30.0	50.0	28.5	27.0	26.0	…
	同 游離炭素實測値%	17.32	17.20	20.90	16.90	16.01	16.00	…
	同 同 計算値 %	12.56	12.67	14.40	12.65	12.61	12.63	12.12
	同 差	4.76	4.53	6.50	4.35	3.40	3.37	…
タール(7)	風化殘留物 %	99.68	98.70	91.50	99.11	99.32	99.12	103.15
	重量減 %	0.32	1.30	8.50	0.89	0.68	0.88	− 3.15
	殘留物軟化點 °C	34.0	35.0	53.0	32.0	31.0	31.0	…
	同 游離炭素實測値%	17.72	18.56	21.81	18.12	17.28	17.38	…
	同 同 計算値 %	12.95	13.08	14.11	13.03	12.99	13.00	12.50
	同 差	4.77	5.48	7.70	5.09	4.29	4.38	…

ありては游離炭素の激增を示し，タール(4)，タール(5)の如きは計算値に對して 14.5 及び11.6 %の增加を表して居る．之に反してタール(6)及びタール(7)にありては，計算値に對する超過は6.5 及び 7.7 % にして日光の影響の程度がやゝ低きことが認められる．

之を軟化點に徵すれば，タール(4)及びタール(5)に於ては，約 50°C の上昇を示し，タール(6)及びタール(7)に於ては 28 及び 25°C の上昇を見，游離炭素の增加より推測せる所と同樣なる傾向あることを窺はしめる．日光下に於けるものに次ぎては空氣中風化物は變化多く，之につき清水中風化物も變化ありたることを示して居るが，其の變化の程度は少い．

［5］ タール蒸溜殘留物とタール風化殘留物との微針度の比較

上記，タールの重量變化，微針度の變化，游離炭素，軟化點等より，タールが空氣中，

日光下等に於て，其の成分中の揮發分を失ふことによりて硬化するのみならず，酸化，重合，炭化作用等が行はれる結果としても著しい硬化作用が行はるゝことが分るが，尙自然硬化物と蒸溜殘留物との重量減及び微針度の比較を行ふことによりてもこの關係は一層明瞭となる．上記 4 種のタールについて其の比較を取れば，第 37 表乃至第 44 表及び第 39 圖乃至第 42 圖の如くである．

タール (4) ……第 37 表，第 38 表，第 39 圖

常溫用タール (4) につき 25°C の微針度の變化を見るに第 37 表の如く，其の重量減少 12.6 % 位迄は，微針度 (5mm, 50g, 5sec) は 300 以上にして極めて軟質である．卽ち 270°C 蒸溜殘留物，日光下 15 日風化殘留物等は，未だこの狀態を脫せざるものである．日光下 1 ヶ月に至るに及んで，重量減少は 16 % に達し，微針度 (5, 50, 5) は 57 を示し，ストレート・アスファルト 150～200 よりもやゝ硬質となる．日光下 3 ヶ月に於ては，重量減少は約 18.5 % に達し微針度 (3, 50, 5) は 120 にして，尙硬化せるを示し，日光下 6ヶ月に至れば，重量はあまり變化なけれど，微針度 (3, 50, 5) は 15.4 となり甚しき硬化を示し，ストレート・アスファルト 40～50 よりも硬質となる．然るに 300°C 蒸溜殘留物にありては，重量減少は 25.8 % の多きに及ぶにかゝはらず，微針度 (5, 50, 5) は 280 にして日光下 1 ヶ月のものよりも軟質である．この微針度變化の狀態を見るに日光下に於ける試料は揮發分の發散により殘留物が硬化するのみならず，之と同時に殘留

第 37 表　タール (4) 蒸溜殘留物及風化殘留物 25°C 微針度變化比較

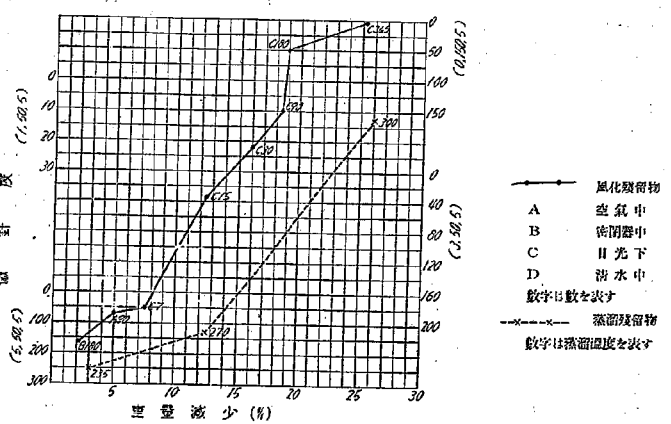
重量減 %	蒸溜殘留物				風化殘留物		
	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	溫度	5, 50, 5	3, 50, 5	日數
2.44	…	…	…	…	>300	…	日光 3 日
2.85	>300	…	…	235°C	…	…	…
5.04	>300	…	…	…	>300	…	空氣6ヶ月
6.20	…	…	…	…	>300	…	空氣1ヶ年
6.77	…	…	…	…	>300	…	密閉1ヶ年
7.51	>300	…	…	…	>300	…	日光 7 日
12.00	…	…	…	…	>300	…	日光 15日
12.61	>300	…	…	270°C	…	…	…
16.05	…	…	…	…	57	…	日光1ヶ月
18.41	…	…	…	…	11	120.3	日光3ヶ月
18.71	…	…	…	…	…	15.4	日光6ヶ月
25.20	…	…	…	…	…	2	日光1ヶ年
25.82	280	…	…	300°C	…	…	…
38.77	8	20.8	79.2	325°C	…	…	…

第 38 表　タール（4）蒸溜殘留物及風化殘留物 1.0°C 微針度比較

重量減	蒸溜殘留物							風化殘留物				
%	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 50, 5	0, 150, 5	0, 250, 5	溫度	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 150, 5	日數
2.15	…	…	…	…	…	…	…	160	…	…	…	密 6ヶ月
2.44	…	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	日光 3ヶ月
2.85	251	…	…	…	…	…	235°C	…	…	…	…	…
3.99	…	…	…	…	…	…	…	56	…	…	…	空氣 3ヶ月
5.04	…	…	…	…	…	…	…	73	124	…	…	〃 6ヶ月
6.20	…	…	…	…	…	…	…	33	64	110	…	空氣 1ヶ年
6.77	…	…	…	…	…	…	…	33	124	…	…	密 ヶ年
7.51	…	…	…	…	…	…	…	52	…	…	…	日光 7 日
12.00	…	…	…	…	…	…	…	…	34	…	…	同上 15 日
12.61	132	215	…	…	…	…	270°C	…	…	…	…	…
16.05	…	…	…	…	…	…	…	…	…	22.2	…	日光 1ヶ月
18.41	…	…	…	…	…	…	…	…	…	10.2	…	〃 3ヶ
18.71	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	50	〃 6ヶ月
25.20	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	> 5	〃 1ヶ年
25.82	…	6.6	13.2	51.6	154.6	…	300°C	…	…	…	…	…
38.77	…	…	…	…	3.5	9.3	325°C	…	…	…	…	…

物自體が諸種の化學作用によりて硬化する．而して其の硬化の程度は日光下 6ヶ月にして既に 300°C 蒸溜殘留物より遙かに硬質となる．

この關係を 1.0°C の微針度について比較せるものは第 38 表であつて，之を圖示すれば第 39 圖の如く，日光下 3ヶ月及び 6ヶ月の風化殘留物は，其の重量減少は 300°C 蒸溜



第 39 圖　タール（4）蒸溜殘留物，風化殘留物 1.0°C 微針度と重量變化

殘留物より遙かに少きにも拘らず，其の硬化の程度は，之より遙かに進めるは 25°C 微針度について見たる所と略ゝ一致して居る．

第 39 圖中×印は蒸溜殘留物の重量減及び微針度を示すもので，• 印は風化殘留物の夫等を示すものである．ブロークン・ライン及フル・ラインは圖を見る便宜の爲に各點を連絡せるものにすぎずして，本圖にありては，線の傾斜の度には多くの意味を與へ難い．第 40 圖，第 41 圖，第 42 圖は第 39 圖と同樣に，タール (5)，タール (6)，タール (7)，について 1.0°C 微針度の變化を示したもので，硬化の過程の概略についての說明圖である．

タール (5) 第 39 表，第 40 表，第 40 圖

加熱路面處理用タール (5) について 25°C の微針度の變化を見るに，第 39 表の如く重量減少約 10% 位迄は，微針度 (5, 50, 5) は 300 以上にして極めて軟質である．270°C 蒸溜殘留物，日光下 15 日風化殘留物は共にまだこの軟質狀態にある．日光下 1 ヶ月に至れば重量減少約 12% に達し，其の微針度 (5, 50, 5) は 62 を示し，ストレート・アスファ，

第 39 表　タール (5) 蒸溜殘留物及び風化殘留物 25°C 微針度比較

重量減 %	蒸溜殘留物						風化殘留物					日數
	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 50, 5	0, 150, 5	溫度	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 50, 5	0, 150, 5	
0 …	>300	…	…	…	…	0	>300	…	…	…	…	0 日
1.22	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	日光 3 日
1.45	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	空氣 1ヶ月
2.53	>300	…	…	…	…	235°C	…	…	…	…	…	…
2.70	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	空氣 3ヶ月
3.02	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	〃 6ヶ月
4.11	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	〃 1ヶ年
4.26	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	日光 7 日
4.28	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	清水 1ヶ年
4.76	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	鹽 1ヶ年
4.82	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	蜜 1ヶ年
5.73	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	酸 1ヶ年
7.68	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	日光 15 日
10.32	>300	…	…	…	…	270°C	…	…	…	…	…	…
11.82	…	…	…	…	…	…	62	…	…	…	…	日光 1ヶ月
13.29	…	…	…	…	…	…	14	51	>200	…	…	日光 3ヶ月
13.38	…	…	…	…	…	…	…	34	88	…	…	日光 6ヶ月
18.37	113	218	…	…	…	300°C	…	…	…	…	…	…
18.94	…	…	…	…	…	…	…	…	17	55	163	日光 1ヶ年
31.04	…	…	5.2	24	76	325°C	…	…	…	…	…	…

第 40 表 タール (5) 蒸溜殘留物及び風化殘留物 1.0°C 微針度比較

重量減 %	蒸溜殘留物 5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	5, 50, 50	150, 50	250, 50	温度	風化殘留物 5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 50	150, 50	250, 50	350, 5	日数
0	>300	…	…	…	…	…	0	>300	…	…	…	…	…	0 日
0.34	…	…	…	…	…	…	…	137	…	…	…	…	…	密 1ヶ月
0.40	…	…	…	…	…	…	…	118	…	…	…	…	…	〃 3ヶ月
0.56	…	…	…	…	…	…	…	130	…	…	…	…	…	空氣7ヶ日
0.92	…	…	…	…	…	…	…	62	123	…	…	…	…	密 6ヶ月
1.02	…	…	…	…	…	…	…	120	…	…	…	…	…	空氣 15日
1.45	…	…	…	…	…	…	…	117	…	…	…	…	…	〃 1ヶ月
1.22	…	…	…	…	…	…	…	145	…	…	…	…	…	日光 3 日
2.48	…	…	…	…	…	…	…	192	…	…	…	…	…	清水3ヶ月
2.53	122	229	…	…	…	…	235°C	…	…	…	…	…	…	…
2.70	…	…	…	…	…	…	…	26	54	…	…	…	…	空氣3ヶ月
3.02	…	…	…	…	…	…	…	21	45	…	…	…	…	〃 6ヶ月
3.37	…	…	…	…	…	…	…	73	200	…	…	…	…	清水6ヶ月
4.11	…	…	…	…	…	…	…	14	20	78	…	…	…	空氣1ヶ年
4.26	…	…	…	…	…	…	…	18	33	…	…	…	…	日光 7 日
4.28	…	…	…	…	…	…	…	55	71	…	…	…	…	清水1ヶ年
4.76	…	…	…	…	…	…	…	38	66	172	…	…	…	鹽 1ヶ年
4.82	…	…	…	…	…	…	…	6	22	110	…	…	…	密 1ヶ年
5.73	…	…	…	…	…	…	…	25	53	>150	…	…	…	酸 1ヶ年
7.68	…	…	…	…	…	…	…	…	10	22	…	…	…	日光 15日
10.32	…	15	48	107	…	…	270°C	…	…	…	…	…	…	…
11.82	…	…	…	…	…	…	…	…	…	3	17	…	…	日光1ヶ月
13.29	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	< 10	86	…	〃 3ヶ月
13.38	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	14	30	〃 6ヶ月
18.37	…	…	…	9	39	98	300°C	…	…	…	…	…	…	…
18.94	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	3	7	日光1ヶ年
31.02	…	…	…	…	2	5	325°C	…	…	…	…	…	…	…

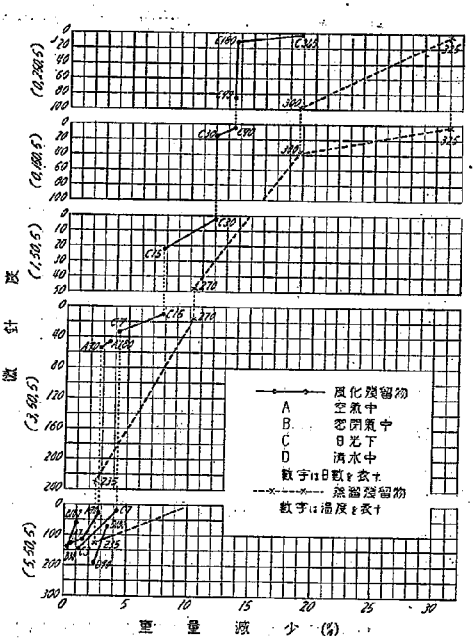
ルト 150～200 (原試料) よりも硬質となり，3 ヶ月に至れば，重量減少約 13.3 % にして微針度 (3, 50, 5) は約 14; 微針度 (3, 50, 5) は 51 を示し，ストレート・アスファルト 40～50 の稠度に接近し，6 ヶ月に於ては重量は 3 ヶ月のものと略ゝ同様なれども，其の微針度 (1, 50, 5) は 88 を示しストレート・アスファルト 40～50 よりも硬質となる．然るに 300°C 蒸溜殘留物は，重量減少 18.4 % の多きに拘らず，微針度 (5, 50, 5) は 113 にしてストレート・アスファルト 150～200 よりも軟質の狀態にある．これ等の關係は大體に於て，タール (4) と類似し，本タールに於ても揮發分の發散以外の化學的硬化が多分に行はれるものである．

この關係を 1.0°C の微針度について比較せるものは第 40 表であつて，之を圖示すれ

ば第 40 圖の如くになる．卽ち重量減 7.7％ の日光下 15 日の風化物は重量減 10.3％ の 270°C 蒸溜殘留物よりも硬質であり，重量減 11.8％ の日光下 30 日風化物は，重量減 18.4％ の 300°C 蒸溜殘留物よりも硬質である．重量減 13.4％ 前後の日光下 3ヶ月及 6ヶ月の風化物は更に硬質である．

タール (6) …… 第 41 表，第 42 表，第 40 圖

加熱混合マカダム用タール (6) の 25°C 微針度の變化は第 41 表の如く，重量減少3.5％ 位迄は，微針度 (5, 50, 5) は 300 以上にして軟質の狀態にある．235°C 殘留物，7 日日光風化物等はこの程度の狀態を脫しないが，空氣中 6 ヶ月風化物は重量減少約 0.7％の少きに拘らず，微針度 (5, 50, 5) は約 200 を示し，相當硬化せる跡を示して居る．之に反して清水 6 ヶ月のものは，重量減は 1.26％ を示し，空氣中 6 ヶ月のものよりも損失多きに拘らず，微針度 (5, 50, 5) 300 以上の軟質狀態を示して居るが，之は清水中の試料は直接空氣に接觸せざるため化學的硬化作用の遙かに少いことを示すものである．



第 40 圖　タール (5) 蒸溜殘留物及風化殘留物 1.0°C 微針度と重量變化との比較

日光下 15 日に至れば，重量減約 6.0％ にして，微針度 (5, 50, 5) は 142 を示し，1ヶ月にては重量減 8.8％ にして微針度は 58 を示し，之と同程度の重量減を有する 270°C 蒸溜殘留物よりも硬質となり，其所に幾分の化學的硬化が旣に含まるゝことが知られる．日光下3ヶ月の風化物の重量減少は約 10％ にして，300°C 蒸溜殘留物の重量減少は約 12.9％ であり，約 3％ の相違を示して居るが，微針度 (3, 50, 5) は略ゝ同程度であつて，こゝにても日光風化物に化學硬化の附隨することを示して居る．日光下 6ヶ月の風化物は其の重量減少は 3 ヶ月風化物と大差はないが其の稠度は更に硬化して居つて，300°C 蒸

第 41 表　タール（6）蒸溜殘留物及び風化殘留物 25°C 微針度比較

重量減 %	蒸溜殘留物 5, 50, 5	3. 50, 5	1, 50, 5	0. 50, 5	0. 150, 5	溫度	風化殘留物 5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 50, 5	0, 150, 5	日數
0	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	0 日
0.64	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	日光 3 日
0.69	…	…	…	…	…	…	197	…	…	…	…	空氣 6ヶ月
0.70	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	清水 1ヶ月
1.09	…	…	…	…	…	…	150	…	…	…	…	空氣 1ヶ年
1.15	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	清水 3ヶ月
1.26	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	〃 6ヶ月
1.48	…	…	…	…	…	…	>250	…	…	…	…	鹽 1ヶ年
1.51	…	…	…	…	…	…	>250	…	…	…	…	酸 1ヶ年
1.83	…	…	…	…	…	…	>250	…	…	…	…	清水 1ヶ年
2.03	…	…	…	…	…	…	152	…	…	…	…	密 1ヶ年
2.05	>300	…	…	…	…	235°C	…	…	…	…	…	…
3.48	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	日光 7 日
6.00	…	…	…	…	…	…	142	…	…	…	…	〃 15 日
8.75	92	188	…	…	…	270°C	…	…	…	…	…	…
8.78	…	…	…	…	…	…	58	…	…	…	…	日光 1ヶ月
10.08	…	…	…	…	…	…	13	27	75	…	…	日光 3ヶ月
10.26	…	…	…	…	…	…	…	29	57	…	…	〃 6ヶ月
12.88	…	27	99	207	…	300°C	…	…	…	…	…	…
13.76	…	…	…	…	…	…	…	11	18	…	184	日光 1ヶ年
21.08	…	…	…	10	46	325°C	…	…	…	…	…	…

第 42 表　タール（6）蒸溜殘留物及び風化殘留物 1.0°C 微針度比較

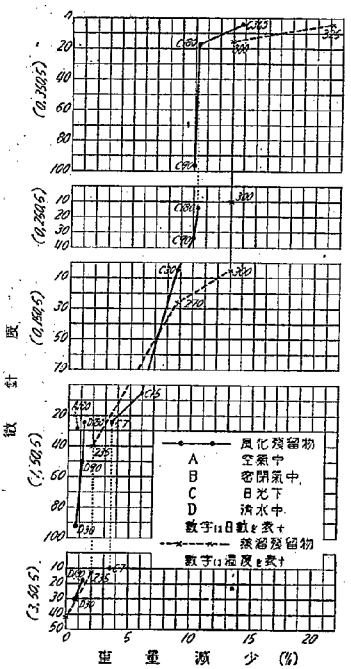
重量減 %	蒸溜殘留物 5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	0, 50, 5	0, 150, 5	0, 250, 5	0, 350, 5	溫度	風化殘留物 3, 50, 5	1, 50, 5	0, 150, 5	0, 250, 5	0, 350, 5	日數
0	…	43	149	…	…	…	…	0	43	149	…	…	…	0日
0.64	…	…	…	…	…	…	…	…	41	…	…	…	…	日光 3日
0.69	…	…	…	…	…	…	…	…	…	29	(0, 50, 5) 61	…	…	空氣6ヶ月
0.70	…	…	…	…	…	…	…	…	31	92	…	…	…	清水1ヶ月
1.15	…	…	…	…	…	…	…	…	24	51	…	…	…	清水3ヶ月
1.26	…	…	…	…	…	…	…	…	17	24	…	…	…	清水6ヶ月
1.48	…	…	…	…	…	…	…	…	7	18	>200	…	…	鹽液1ヶ年
1.51	…	…	…	…	…	…	…	…	10	24	>200	…	…	酸液1ヶ年
1.83	…	…	…	…	…	…	…	…	8	21	>200	…	…	清水1ヶ年
2.03	…	…	…	…	…	…	…	…	<10	10	165	…	…	密 1ヶ年
2.05	4	12	40	105	…	…	…	235°C	…	…	…	…	…	…
3.48	…	…	…	…	…	…	…	…	10	23	…	…	…	日光 7日
6.00	…	…	…	…	…	…	…	…	…	4	…	…	…	日光15日
8.75	…	…	…	10	26	…	…	270°C	…	…	…	…	…	…
8.78	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	4	…	…	日光1ヶ月
10.08	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	33	96	日光3ヶ月
10.20	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	13	17	日光6ヶ月
12.88	…	…	…	…	5	10	15	300°C	…	…	…	…	…	…
13.76	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	3	6	日光1ヶ年
21.08	…	…	…	…	…	…	4	325°C	…	…	…	…	…	…

溜殘留物よりも硬質となつて居る．

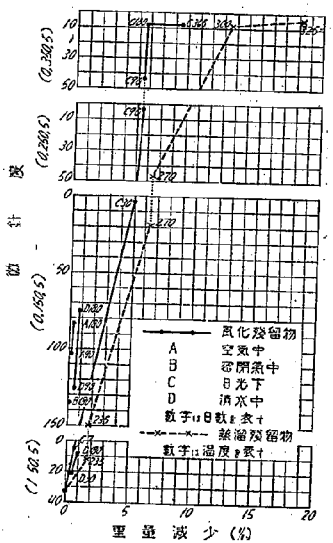
之をアスファルトと比較すれば，日光風化 15 日にては，ストレート・アスファルト 150～200 より軟質であるが，1ヶ月に至れば之より硬質となり，3ヶ月，6ヶ月に於てはストレート・アスファルト 40～50 よりも硬質となる．

更に上記の關係を 1.0°C の微針度について見るに第 42 表及び第 41 圖の如くで，日光下 7 日風化物は 3.5％ の重量減を示して相當硬化せることが明かである．空氣中 6ヶ月，滯水中 6ヶ月のものは 235°C 蒸溜殘留物よりも重量の減少は少なけれども，之よりは稍〻硬質となつて居る．日光下 30 日風化物と，270°C 蒸溜殘留物との比較，日光下 3ヶ月及 6ヶ月風化物と 300°C 蒸溜殘留物との比較は略〻25°C の微針度の比較と類似して居る．

之を要するに空氣及び日光に接觸する期間の永き程化學的硬化は大なるものの如く推測せられる．



第 41 圖　タール（6）蒸溜殘留物及風化殘留物 1.0°C 微針度と重量變化



第 42 圖　タール（7）蒸溜殘留物及各種風化殘留物 1.0°C 稠度變化と重量變化

タール (7) …… 第 43 表, 第 44 表, 第 42 圖

加熱混合用タール (7) の 25°C 微針度變化は, 第 43 表の如く, 日光下 7 日, 空氣中 6 ヶ月, 清水中 6 ヶ月風化物は, 其の重量の減少 0.7 % 以下に拘らず, 相當硬化を示しては居るが, 其の中清水中試料は, 硬化の程度がよほど少い. 而して前 2 者は, 重量減 1.8 % の 235°C 蒸溜殘留物よりも硬質である. 重量減 3.0 % 及び 4.9 % の日光下 15 日及び 30 日風化物は重量減 6.3 % の 270°C 蒸溜殘留物よりも硬質であり, 重量減約

第 43 表 タール (7) 蒸溜殘留物及風化殘留物 25.0°C 微針度比較

重量減 %	蒸溜殘留物							風化殘留物					
	0, 50, 5	3, 50 5	1, 50, 5	0, 50, 5	0, 150, 5	0, 250, 5	温度	5, 50, 5	3, 50, 5	1, 50, 5	5, 50, 5	0, 150, 5	日數
0	>300	…	…	…	…	…	0	>300	…	…	…	…	0 日
0.23	…	…	…	…	…	…	…	138	…	…	…	…	空氣6ヶ月
0.30	…	…	…	…	…	…	…	300	…	…	…	…	日光 3 日
0.32	…	…	…	…	…	…	…	125	…	…	…	…	空氣1ヶ年
0.39	…	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	清水1ヶ月
0.59	…	…	…	…	…	…	…	>300	…	…	…	…	清水3ヶ月
0.61	…	…	…	…	…	…	…	255	…	…	…	…	清水6ヶ月
0.63	…	…	…	…	…	…	…	114	…	…	…	…	日光 7 日
0.68	…	…	…	…	…	…	…	>200	…	…	…	…	鹽液1ヶ年
0.88	…	…	…	…	…	…	…	150	…	…	…	…	酸液1ヶ年
0.89	…	…	…	…	…	…	…	180	…	…	…	…	清水1ヶ年
1.30	…	…	…	…	…	…	…	63	…	…	…	…	密 1ヶ年
1.77	209	…	…	…	…	…	235°C	…	…	…	…	…	…
3.02	…	…	…	…	…	…	…	36	…	…	…	…	日光 15日
4.92	…	…	…	…	…	…	…	10	36	…	…	…	日光1ヶ月
5.45	…	…	…	…	…	…	…	…	…	29	141	…	日光3ヶ月
5.50	…	…	…	…	…	…	…	…	…	30	94	…	日光6ヶ月
6.27	63	157	…	…	…	…	270°C	…	…	…	…	…	…
8.50	…	…	…	…	…	…	…	…	…	10	23	>200	日光1ヶ年
12.61	…	11	34	107	…	…	300°C	…	…	…	…	…	…
18.58	…	…	…	8	45	93	325°C	…	…	…	…	…	…

5.5 % の日光下 3 ヶ月及び 6 ヶ月の風化物は重量減約 12.6 % の 300°C 蒸溜殘留物と略ゝ同程度或は之に近似の稠度を示して居る. 日光下 3 ヶ月より 6 ヶ月に至る間に於ては, 前 3 種のタールの場合と同樣に氣温低かりし爲重量減少は殆んど起つて居ないが, 其の稠度は硬化して居る.

この關係を 1.0°C の微針度について見るに, 第 44 表の如く, 之を圖示すれば第 42 圖の如くである.

即ち空氣中3ヶ月及び6ヶ月，密閉器中6ヶ月，日光下7日，清水中3ヶ月及び6ヶ月の風化物は，之より重量減少多き 235°C 蒸溜殘留物より硬質となつて居る．日光下1ヶ月風化物と 270°C 蒸溜殘留物との稠度の關係，日光下3ヶ月及び6ヶ月風化物と 300°C 蒸溜殘留物との稠度の關係も略〻 25°C の微針度の比較に類似して居る．

第 44 表　タール(7)蒸溜殘留物及風化殘留物 1.0°C 微針度比較

重量減 %	蒸溜殘留物							風化殘留物				
	1, 50, 5	0, 50, 5	0, 150, 5	0, 250, 5	0, 350, 5		溫度	1, 50, 5	0, 150, 5	0, 250, 5	0, 350, 5	日數
0	32	86	…	…	…	…	0	32	…	…	…	0 日
0.18	…	…	…	…	…	…	…	…	103	…	…	空氣 3ヶ月
0.04	…	…	…	…	…	…	…	…	135	…	…	密　6ヶ月
0.23	…	…	…	…	…	…	…	…	83	…	…	空氣 6ヶ月
0.30	…	…	…	…	…	…	…	21	…	…	…	日光 3 日
0.32	…	…	…	…	…	…	…	…	62	…	…	空氣 1ヶ年
0.39	…	…	…	…	…	…	…	21	…	…	…	清水 1ヶ月
0.59	…	…	…	…	…	…	…	12	126	…	…	清水 3ヶ月
0.61	…	…	…	…	…	…	…	8	75	…	…	清水 6ヶ月
0.63	…	…	…	…	…	…	…	5	…	…	…	日光 7 日
0.68	…	…	…	…	…	…	…	…	35	…	…	鹽液 1ヶ年
0.88	…	…	…	…	…	…	…	…	31	…	…	酸液 1ヶ年
0.89	…	…	…	…	…	…	…	…	42	…	…	清水 1ヶ年
1.30	…	…	…	…	…	…	…	…	30	…	…	密　1ヶ年
1.77	12	36	151	…	…	…	235°C	…	…	…	…	…
3.02	…	…	…	…	…	…	…	60	…	…	…	日光 15 日
4.92	…	…	…	…	…	…	…	…	3	…	…	日光 1ヶ月
5.45	…	…	…	…	…	…	…	…	…	3	43	日光 3ヶ月
5.50	…	…	…	…	…	…	…	…	…	2	8	日光 6ヶ月
6.27	…	5	19	47	…	…	270°C	…	…	…	…	…
8.50	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	8	日光 1ヶ年
12.61	…	…	…	…	8	…	300°C	…	…	…	…	…
18.57	…	…	…	…	4	…	325°C	…	…	…	…	…

［6］ 上記比較によるタールの硬化に關する考察

上記 4 種のタールの蒸溜殘留物，諸種の風化殘留物中の遊離炭素，軟化點，25°C 及び 1.0°C 微針度等の比較によりて，タールの硬化に關して次の如く考へることが出來る．

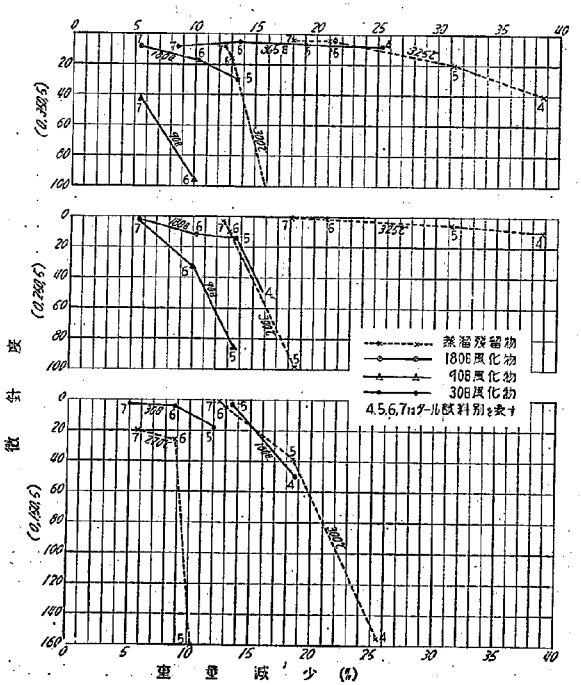
1. タール中の揮發成分の發散による殘留物の硬化
2. タール中の成分の溶出による殘留物の硬化
3. タール中の成分が日光，空氣等の作用によりて，酸化，重合，炭化等の現象を受くる爲の硬化

タールの硬化には少くとも以上3種の現象が考へられ，通常の場合其の中の2つ以上が同時に行はるゝ如くである．

タール蒸溜殘留物については，加熱分解（クラッキング）が伴ふを以て，之を以て完全に，タール中の揮發成分のみを除きたる殘留物とはなしがたきも，之には，酸化，溶出等の作用はあまり含まれて居ない．今假にタール蒸溜殘留物を以て，タール中の揮發成分を除去せる殘留物と概略的に考ふるも，之を他の風化殘留物と比較する範圍に於ては考察の方向を誤導 (Misslead) することはないものと思はれる．

蒸溜殘留物の微針度より考ふる時は，揮發成分の發散によるタールの硬化は，發散量が相當顯著の量に達しなければ，其の硬度の上にあまり多くひゞかない．

タールが，日光，空氣等の作用を受くる時は3ヶ月位まで殊に夏季に於ては，揮發成分の蒸發が著しく，其の結果として，其の重量は，270°C 蒸溜殘留物程度或は其れ以上に減ずるも，300°C 蒸溜殘留物より多量の風化殘留物を生ずる．而して3ヶ月以後は，重量



第 43 圖　各種タール蒸溜殘留物及日光下風化殘留物 1.0°C 微針度比較

の減少は著しく其の程度を減ずる．殊に，原タールに揮發成分の少量なるものは，重量の變化があまりないが，其の稠度は日數とともに硬化しゆく．其の硬化の程度は，本試驗の例に於ては，日光下 3 日にして，270°C 殘留物よりも硬質となり，日光下 90 日にして，揮發成分多きタールは 300°C 蒸溜殘留物よりも硬化する，揮發成分比較的少きタールは之より稍〻軟質である．日光下 180 日に至れば，略〻 300°C 蒸溜殘留物程度の稠度となる．

第 43 圖は各種タールの蒸溜殘留物及び風化殘留物の重量減及び微針度を總括的に比較せるものである．

VI. 要　　約

本研究は，アスファルト，タールの性質に及ぼす氣象作用の影響，特に其の薄層の場合の性質變化，を檢したるもので上記實驗の範圍に於ては次の結論を得る．

1. **薄層性質は變化す**　石油アスファルト及び鋪裝用タールは薄層の狀態に於ては，時日の經過に從つて其の性質を變化する．

2. **性質變化諸因**　上記の性質變化は薄層の周圍の狀況によりて大いに異り，又石油アスファルトと鋪裝用タールとでは其の趣を異にし，鋪裝用タール間に於ては原タールの性狀によりて其の變化の程度を異にする．

3. **周圍の狀況の影響**　石油アスファルトにありても鋪裝用タールにありても，空氣の流通あしく，水，日光等の作用を受けざる場合には，蒸發，化學變化，溶出等少きため性質の變化最も少く，空氣の存在下に於て直射日光の作用を受くる場合には，性質變化が最も甚しい．實驗室空氣中にては，直射日光下に比較すれば，其の變化は遙かに少いが，他の狀況の下よりは稍〻變化の程度が大である．淸水中，鹽類液中，酸液中，アルカリ液中に於ても又異れる變化がある．

4. **石油アスファルトと鋪裝用タールとの比較**　石油アスファルトと鋪裝用タールとでは其の性質の變化は，全く趣を異にすることは前述の通りであるが，之を尙各狀況の下に於て比較すれば次の如くなる．

5. **實驗室空氣中變化**　實驗室空氣中に於ては，石油アスファルトは重量の增加を來し，酸化作用其の他の化學的變化を受くるを以て，漸次硬質となりゆくが，鋪裝用タールにありては，揮發成分の發散の爲に重量減少を來たし，先づこの爲に硬質に移りゆくと同時に揮發殘留物は，酸化作用其の他の化學變化の爲尙硬化するもので，石油アスファルトに比してこの作用は程度が大である．從つて鋪裝用タールにありては稠度の變化は，石油アスファルトよりも遙に甚しい．

6. 直射日光下變化 直射日光下に於ては，實驗室の空氣中に於けるよりも溫度の變化も大であるが，光線の作用は，石油アスファルト及び鋪裝用タールの兩者に著しく影響する．直射日光下の變化は，實驗室空氣中の變化に比し其の程度，其の速度が大なるものと見做される．この事實はこれ等の材料が日光の光線に對して感受性が頗る大なることを示して居る．

石油アスファルトの直射日光下の變化の模樣は，本實驗に於ては其の重量增加は1年間約 2% 前後（但し試料の厚さ約 3 mm 內外の場合）にして，之を單位面積の重量增加に換算すれば，約 0.70～1.00 kg/m² であつた．其の表面の稠度は多少硬化するも，其の程度は少い．厚さ 3 mm 前後の試料にありては，其の 1ヶ年間日光下に風化せるものゝ平均軟化點には甚しき變化は見られないが，其の表面が化學的に變化せられ居る事は，其の重量變化，微針度の減少，カービンの增加，表面の光澤の消失，其の粗鬆化等より見て否定し難い．從つて之を塗料の如く薄きフィルム狀として日光下に使用する時は，塗膜の脆化，龜裂，粗鬆化等はまぬがれない．

タールは，直射日光下に於ては，先づ揮發成分の蒸發が行はれる結果，其の重量は減少するが，其の程度はタールの質によりて著しく異る．本實驗に於ては，最低 8.5 乃至最高 25.2 % であつた．之と同時に其の表面の化學的の變化も，石油アスファルトより甚しく，從つて軟化點は著しく上昇すると共に，其の表面は粗鬆化する．而してタールの日光下硬化の程度は必ずしも，原タールの稠度とは平行せずして，むしろ蒸溜殘留物の性質に關するものゝ如くである．タール1ヶ年後の稠度は，低溫に於ては，アスファルトよりも硬化する傾向が見受けられる．之を化學的成分の上から見れば，日光下試料はいづれも，遊離炭素の量が著しく增加して居り，甚しきは其の增加率 10 % 以上に及んで居る．

7. 清水中變化 清水中に於ては，石油アスファルトは重量の增加を來たすが，之は主として吸水によるもので，空氣中に於ける程酸化作用が多く行はれるものとは考へ難い．然しながら水中に溶存する酸素の影響が皆無なりや否やは不明である．而して水中にてもある程度迄硬化する事實を認めることが出來るが，其の程度は空氣中よりも少い．

鋪裝用タールは，清水中に於ても重量の減少を來たすが，之は揮發成分の蒸發によるものではなくして，其の中の水に可溶なる成分の溶出せらるゝに依るもので其の溶出量はタールの質により異り，少きものは 1% 以內，多きものは 4% を超える．この爲にタールは漸次硬化するが，硬化の程度は實驗室空氣中よりも少しく低い．

8. 鹽類液中，酸液中變化 鹽類液中，酸液中に於ては，上記實驗の範圍では大體に於て，石油アスファルトも鋪裝用タールも清水中に於ける變化に類するが，鹽類液中のものは概して物理的性質の變化の程度が幾分少い樣である．

9. アルカリ液中變化　アルカリ液中に於ては，石油アスファルトの變化は清水中試料に類するが，鋪裝用タールは其の中にアルカリに作用せらるゝ成分を含むを以て外觀は著しく變化する．然し其の稠度の變化はさほど甚しくない．而して1ヶ年間浸漬せる試料はかへつて重量の增加を示して居る場合もあつた．

10. 使用上の注意　上記の如く石油アスファルトと鋪裝用タールとは，其の性質變化の樣樣を全然異にするを以て，其の使用に際しては，全く之を別途に考へなければならない．

11. 石油アスファルトの使用上注意　石油アスファルトの使用に關しては，日光及び空氣の影響が主として問題となる．從つて石油アスファルトのみを塗膜主成分とする塗料又は石油アスファルト自身を以て，露天に曝露せらるゝ場所を塗裝し或はかゝる場所の防水用に供することは策の得たるものでなく，其の塗膜は數ヶ月を出でずして脆化し，龜裂，剝落等を起すことゝなるであらう．之等の作用に對しては，石油アスファルトの中ではブローン・アスファルトが比較的抵抗性が强いが，然し之とても全然變化がないと言ふ譯にはゆかない．

日光下に比して清水中，鹽類液中では其の變化は遙かに少い．從つて地下或は海水中等の防水工事用としては，其の使用方法宜しきを得ば石油アスファルトは相當の效果を擧げうる可能性がある．

但し石油アスファルトを，他の鑛物性物質と混合したるもの，(鋪裝混合物，顏料を含めるアスファルト質塗料等) の性質の變化は，純石油アスファルトのみの薄層の變化とは異るであらうから，かゝるものについては別に研究することを要する．

12. 鋪裝用タールの使用上注意　鋪裝用タールに關しては，揮發成分の蒸發散逸すること，日光及び空氣の作用の一層甚しいこと，清水其の他の溶液により其の成分の一部を溶出せらるゝこと等に於て，石油アスファルトと異る．從つて，日光直射下に於ける塗料としてはタールを塗膜主成分とするもの，或はタール自身を用ふることを避くべきは石油アスファルトの場合と同樣である．

之を鋪裝用とする場合には，シール・コート或は路面處理の如く直射日光の作用，蒸發，雨水等の影響を受けやすき場所に使用せらるゝものと，タール透入マカダム，タール路上混合マカダム，タール混合マカダム，路床上のプライマー等に使用せられて，直射日光，雨水等の影響等比較的少きものとに於ては，全然方針を變へて考へねばならぬ．この事柄に對しては，本所報告第 31 號，「本邦鋪裝用タールの性質」に於て詳論してある．(65 頁～ 79 頁參照) シール・コートの如きは，鋪裝用タールの性質より考へて，一時的のものであるから，時々之が修繕或は再塗布を必要とすることは當然である．

13. **鋪裝用タール溶出問題**　鋪裝用タール中に水可溶の成分の存在すること，其の溶出の程度等は，略ゝ上記の實驗によつて見當がつくが，之を他の鑛物性の物質と共に鋪裝用に供し，輾壓固結し，且つ一部分蒸發其の他の變化の行はれた後に於て，其の表面より雨水によりて果して幾何の溶出物質が流出するやは尚研究を要すべき問題であるが，其の量は極めて少きものと想像せられる．

然しながら，タール酸含有量 5.85 vol. % 迄の鋪裝用タールを用ゐて築造せるタール鋪裝道路上に降雨あるも，其の路面を流るゝ水は水稻の發育に對して無害なることは，本所報告第 32 號に記載せられたる農林省農事試驗場の研究の示すが如くである．

14. **日光直射下に使用すべきタールの質**　各種稠度のタールが，日光風化を受くる場合に最終殘留物（1 ヶ年）の稠度は必ずしも原タールの稠度の硬軟には依らない．本研究に用ゐたる試料にありては，常溫用タールにして液狀を呈し，最も稠度軟質であり低溫揮發成分に富む タール (4) は 1ヶ年後に於て最も硬質である．之に次ぎて 1ヶ年後に硬質なるものは比較的軟質（軟化點 4°C），低比粘度の加熱タール (5) である．却つて，高比粘度のタール (6) ……軟化點 22°C……は其の 1 ヶ年後の稠度は最も低い結果を示して居る．

この事柄は，タールの耐久性が其の最初の粘度に關係するものではなくして，むしろタール使用後に鋪裝中に殘るべき成分の本質に關するものたることを示して居る．而してこの事實は鋪裝用タール選定に對して最も注意すべき點なりとす．

15. **日光直射，空氣，水分等の影響少き所に使用するタールの性質**　タール・マカダム，タール・コンクリート等の鋪裝內部に使用せるタールは，性質の變化が緩慢であるから，最初より比較的硬質のものを選ぶ必要がある．タール・プライマーの使用に當りては，プライマー撒布後，直ちに上部鋪裝を行ふ時は，プライマーは永く原液狀態を脫せざることが有り得る．故にプライマー中の揮發分蒸發，其の硬化等を考慮せる設計に對しては，上部鋪裝を行ふ以前に，プライマー硬化の時間を與へることを要する．

岸壁裏込の特殊工法がその安定度に及ぼす影響に關する試驗

內務技師　松尾春雄
高橋藤平

目　次

I 緒　言……(1)
II 模型試驗……(3)
［1］靜止試驗……(3)
［2］振動試驗……(5)
III 要　約……(8)

I. 緒　言

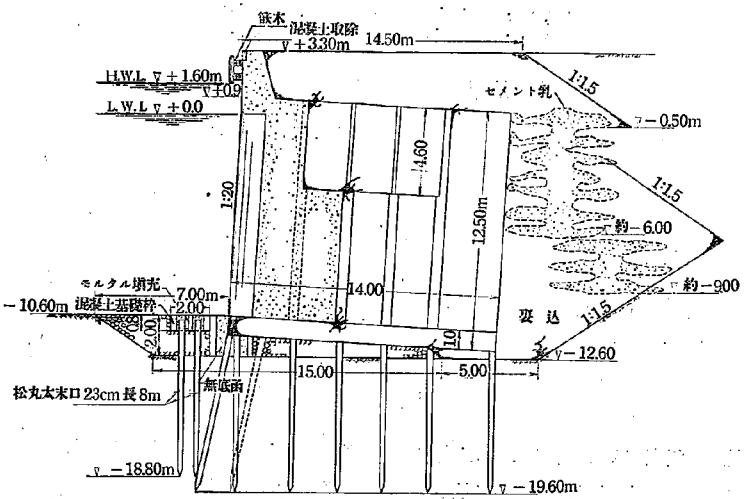
擁壁，橋臺等の安全率は夫等の上部にある構造物に比し極めて小であるから之等を尙安全に設計しなければならない事は技術識者の齊しく認むる處である．

その一例として靜岡縣淸水港の岸壁は我國の港灣構造物が地震の苦い經驗をする以前に設計され，安全率も從來の例に從つて小であつた爲，不幸にも其後數次の地震に脅かされ，岸壁の一部が崩壞し，我國港灣設計に對し貴重なる資料を提供するに至つた．復舊工事に對してはその設計及施工は極めて愼重に行はれ，種々の新考案が樹てられた．その中一つの補强方法として裏込の一部をセメント乳で固結せしめる工法が採用され，その効果に就て內務省橫濱土木出張所より試驗の依頼を受けたので，その結果の概要を茲に報告する．

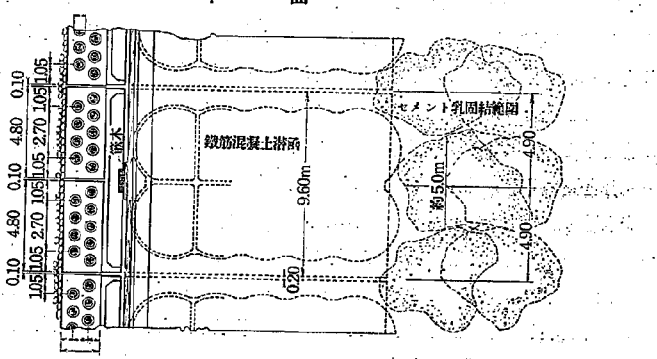
淸水港の追加岸壁の斷面は第1圖の通り，長さ 14 m，幅 9.6 m，高さ 12.5 m の鐵筋コンクリートの潛函を基礎杭の上に縱に並べ，且底面に 1/20 の傾斜を附した構造のものであるが，昭和 10 年7月 11 日午後5時 25 分淸水附近を震央とする地震によつて內岸壁が一部倒壞した際，前方に最大約 30 cm の移動を生じた．依つて將來に對する補强として底部前面に無底函を置き杭を打つて前方への滑出を防止する外に，裏込を一部セメント乳を以て固化し，土壓の輕減を圖つたのである．

裏込は所謂淸水砂利を用ひてある爲モルタル乳を注入すれば容易に固化するとの考への下に施工されたのであつて，配合はセメント 1，粘土 1，水 20 のモルタル乳をグルト一注入器を以て裏込中に挿入した．徑 25 mm の鐵管に 2.8 kg/cm² 內外の壓力を以て斷面

断　面



平　面



第 1 圖　清水港追加岸壁斷面及平面

圖にセメント乳と記した上方の部分に注入すべく計畫されたもので，下方の部分は本試驗の結果によつて追加されたものである．その固結に要するセメントの量は容積に於て砂利の 1/60，工費砂利1立方米當り 1.50 圓と報告された．

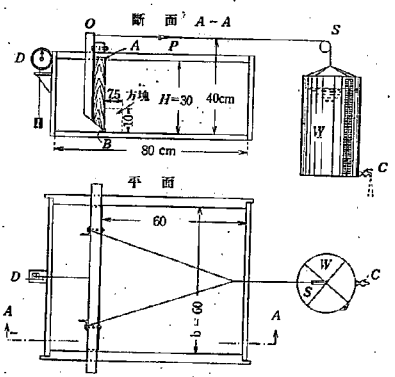
之は水中に於ても相當に固化して土壓輕減の効果がある様であるが，玆に報告するものは之が全く固化し土砂の崩壞面が生ぜんとする場合，その剪斷力に十分耐へるとしてその配置は何れが最も效果的であるかを試驗したものである．試驗は昭和 11 年 8 月乃至 11 月の間に行つたものである．

II. 模 型 試 驗

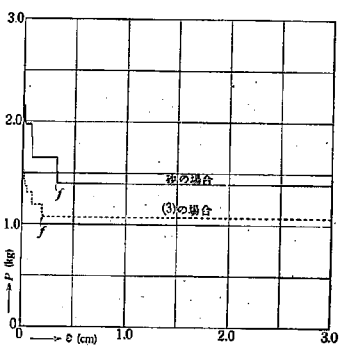
既記の通り裏込を一部完全に固化した場合，その位置は何れが最も有效であるかを知る爲に，裏込の一部に固化したものを置いてその配置の影響を見る事とし，靜止の狀態と地震時の狀態とを別々に試驗した．

[1] 靜 止 試 驗

裝置及試驗方法　第2圖に示す如き兩側ガラス面を有する函の中に設けた壁 AB は函底部に取付けた蝶番によつて自由に廻轉する．



第 2 圖　試驗裝置



第 3 圖　P と壁の移動量 ε との關係

AB を鉛直に支へてその右側に裏込砂及特殊裏込を施し，壁の頂部 O に豫め加へた水平力 P を次第に減少せしめて壁頂 A の左方への移動量 ε とその時の P との關係折線を作り（第3圖），之に依つて特殊裏込の効果を試驗する．

AB に作用する土壓は P と平衡を保つのであるが，P は滑車 S を通りて重量 W なる水槽と平衡を保つ．卽ち P は W より壁の自重による力率，滑車 S の摩擦力等の影

響を除いた値である。W は水を次第に放出する事に依つて除々に減少する.

第3圖の f は壁が急に傾く點であつて試驗の比較は f に相當する P をもつてする。

砂及特殊裏込　壁背面に滿すべき砂は當試驗所附近の荒川水門下流に堆積したものを採取水洗して泥を除き日光にて十分乾燥し篩にかけたもので，篩別試驗の結果は第4圖に示す通りであつて

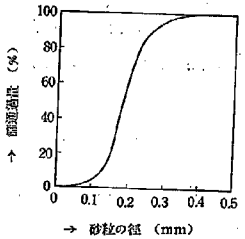
粒の平均の大きさ　0.185 mm　　砂の比重　2.7

單位容積重量　1.26～1.48 kg/l　　平均重量　1.33 kg/l

內部摩擦角　34°00′　　息角　31°30′

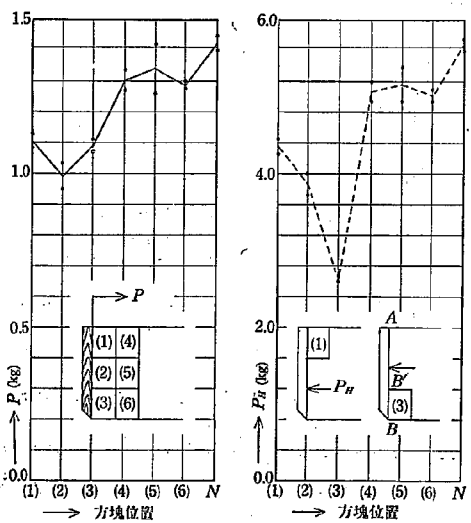
ガラス側壁と砂との間の摩擦角　23°

である.



第 4 圖　試驗砂篩分

土壓輕減の爲の特殊裏込の模型にはモルタルの方塊を使用したのであるが，之は表面の粗なるセメントモルタル方塊であつて，その寸法は 10×7.5×58.8 cm である．卽ち高さ及幅は夫々壁高の 1/3, 1/4 に相當する譯である．而して單位重量は砂のそれと等しくする爲一部を中空とした．從つてこの重量は 5.87 kg である.



第 5 圖　方塊の位置による P 及 P_H の變化．方塊位置 (1) (2) 等はカットに示す通りであり，N は方塊のない狀態である

試驗の結果　裏込砂中の種々の位置（第5圖 (1)～(6) の位置）に方塊を置き P 及 P_H の影響を見た結果は第5圖の通りである.

茲に P は壁底より 40 cm の高さの點での測定値，P_H は土壓合力が土の部分の 1/3 の高さに作用するものとせる土壓合力の水平分力である.

方塊が (3) の位置にある時は $B'B$ の部分の土壓は小であつて近似的には之を除外して考へて大差ない事が實驗から推定されたので，土壓合力の位置を假定する場合 (3) のみに就ては AB' の高さの 1/3

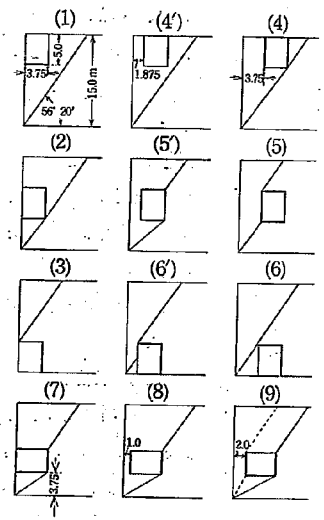
として P_H を算定した．砂の崩壊狀態を明らかにする爲にはガラス面に近い砂層に水平の縞を付して之を觀た．その寫眞は本文の終りに示す通りである．

壁底の廻りの力率に就てのみ考ふれば實驗値は (2) が最も安全で (3), (1) が之に次ぐ樣に見えるが計算した結果に依れば (3), (2), (1) の順になつて居る．

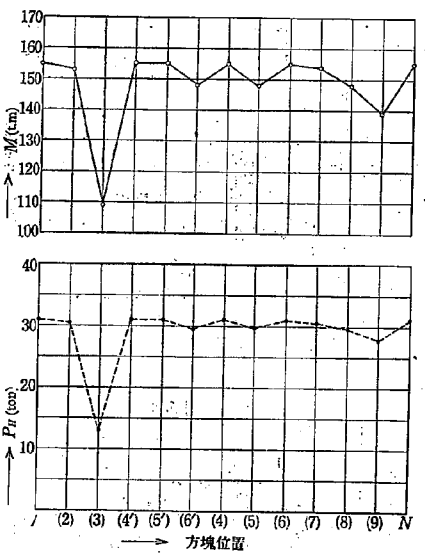
滑出に最も大きい影響を及ぼすべき力 P_H に就て比較すれば孰れも明瞭に (3), (2), (1) の順になつて居る．

清水港の場合に於ての計算　裏込の一部に固體を置いた場合に土壓力が輕減される割合は裏込土砂の內部摩擦角 φ の影響が大である．

清水港の場合に斷面 5.0 m×3.75 m の固體を種々の位置に置いて，反復計算に依り求め得た崩壞面，水平土壓力の大きさ及岸壁後趾の周りの土壓力の力率は第 6～7 圖に示す通りである．



第 6 圖　清水港の場合に就て方塊の種々の位置が崩壞面に及ぼす影響を算定する．細い斜線は崩壞面を示す



第 7 圖　第 6 圖の崩壞面による岸壁への壓力及その岸壁前趾の周りの力率

但し，之は裏込が全部一樣水中にある狀態に就ての概算であつて，$\varphi=30°$，$\varphi_0=20°$，$w=1.0$ t/m³ とし固體の單位重量も亦 1.0 t/m³ とした値である．

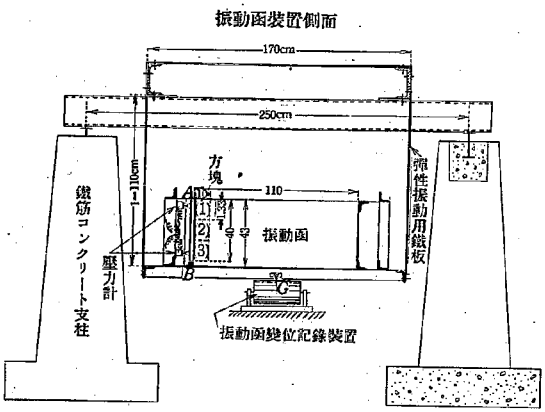
[2] 振 動 試 驗

振動函　第 8 圖に示す如く幅 40 cm，高 43 cm，長 110 cm の函內に砂及方塊を置き

之を紙面に平行に水平に振動し，振動中に壁面に作用する壓力を測定する裝置であつて，函の枠及底面は山形鋼及鋼板を以つて作り，兩側面はガラス板として觀測に便ならしめ，壓力測定壁面は函の一端に振動の方向に直角に設けた．

函全體は堅固なる鐵筋混凝土支柱により支へられたる溝形鋼より4板の帶狀鋼板にて釣る．釣鐵板の長さ l=110 cm　斷面は 7.5×0.8 cm である．函の重量は砂を充したる場合 560 kg であつた．試驗最大水平震度 —— この場合水平振動のみに就て試驗したのであるから鉛直震度は常に零である．震度＝(最大振動加速度)÷(重力の加速度)——k_h=0.4 とし これに相當する振幅 r=7.6 cm，振動の週期 T=0.875 秒である．

試驗に使用した砂は［1］に於て使用せるものと同樣であつて試驗中の平均重量は 1.4 kg/l であつた．この値は振動を與ふる爲に靜止の場合の値とは稍〻異なつてゐる．方塊も［1］に於けるものと同樣のセメントモルタル方塊であつて高さ 13.3 cm (壁高の 1/3)，幅 10 cm (壁高の 1/4)，長さは 38.8 cm とした．單位重量は砂と等しく 1.4 kg/l である．



第 8 圖　振動試驗裝置

測定壁及試驗方法

第9圖は測定壁の取付狀態を示すもので高 40 cm，幅 39.6 cm，厚 2.8 cm の柾目檜板の中央に於て上下兩端より各 5 cm の2點 A, B に取付金物を附しその頭部は螺旋により長さを調節し得る樣にした．

先づ測定壁を上部の枠より細き鐵線にて垂直に釣り C, D, E, F の 4 點にて支桿を接せしめ壁の端は砂止めの細き布をあて方塊及砂を詰める．而して此儘の狀態にて 5 分間 $k_h=0.4$ 程度の振動を繼續し砂の密度を一定ならしめ試驗中その變化なきを期した．然る後砂の沈下部分を補ひ枠より釣れる鐵線を緩め壓力計を電位計に繋ぎ之を觀測しつゝ A, B の取付金物の頭部を出し壓力計に靜に觸れしめ 4 點の支桿を取去る．此時に至りて測定壁は全く砂又方塊と壓力計の摩擦によつてのみ支へらるゝ事となり完全に土壓を壓力計に傳へ得る．

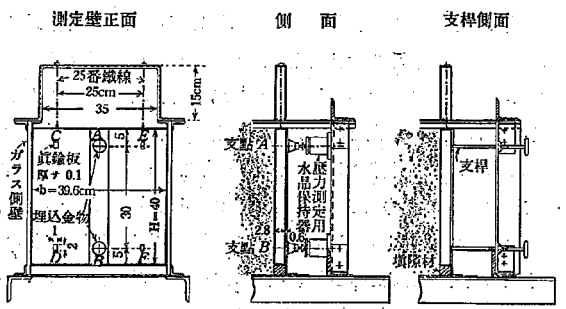
斯くして振動函を除々に振動せしむ．振動中の土壓を示す電位計の壓力測定は 2 枚の水晶板によるピエゾ電氣に依り，その壓力による電位の變化は繊維電位計により又繊維の動きは一樣の速さを以て落下する寫眞乾板上に記錄せしめた．別に函の振動は函に取付けた針 G により直接圓筒に記錄せしめた．(第 8 圖參照)

試驗の結果　試驗は (1), (2), (3) 及方塊なき場合 (第 8 圖參照) の 4 種に就て行ひ，$k_h=0.2$, 0.4 に於ける試驗の平均の水平壓力增加量を下に示す．

(I) 方塊位置	(1)		(2)		(3)		方塊なし	
(II) 震度 (k_h)	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4
(III) A點の壓力(kg)	5.25	11.9	5.15	12.3	6.5	12.2	4.1	9.8
(IV) B點の壓力(kg)	1.8	3.0	1.6	3.7	—	1.8	1.9	4.7
(V) (III)+(IV)	7.05	14.9	6.75	16.0	—	14.0	6.0	14.5

(III)+(IV) は k_h に依つて引起された增加水平壓力である．實際の水平壓力はこれに靜止時の水平土壓力を加へたものである．

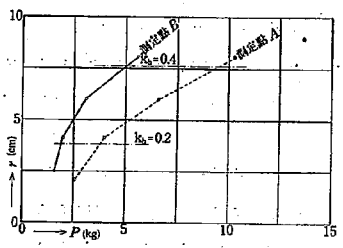
第 10 圖に方塊なき場合の振幅に對する A, B 2 點の壓力曲線を示す．



第 9 圖　振動試驗の壓力測定裝置

上記の振動試驗結果に依れば縱の固い 2 支點にて支へた時には上部に多くの力が作用す

るとの結果が出てゐる．之は以前に行つた地震時土壓の實驗的研究[1]の結果にも現はれてゐる事であるが岸壁の如く自重に依つて立つてゐる壁に於ては必ずしも然らず．岸壁の場合に地震時には如何なる壓力分布を示すかは，實驗的にも尙攻究を要するのであるが壁に作用する合力のみに就て比較すれば振動によつて增加する最大壓力は，何れの配置の場合も方塊のない場合と大差ない結果を示してゐる．



第 10 圖 振動中の壓力の變化の狀態
（方塊のない場合）

地震時に壁に作用する最大壓力は常時壓力の和であるから振動試驗の結果を考慮に入れても尙且 (3) の位置が最も有效であると言つて差支へないと思ふ．

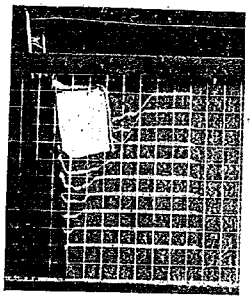
III. 要　　約

以上は清水港に於て施工せる特殊裏込施工に對する比較研究の結果であつて，モルタル注入を施工する場合，如何なる位置の土を固めるのが最も效果があるかに就て，常時及地震時に就て檢討したものである．土壓輕減の效果ある樣に裏込の一部が完全に固化される事，卽ちこの固化部分が土砂の崩壞面成生に對し十分抵抗する爲には如何なる配合のモルタルを選ぶべきかに就ては，現場當局の研究に俟つ事とし玆には之が十分に效果的に施工された場合にその配置は何れが最も效果的であるかに就てのみ試驗を行つたのである．

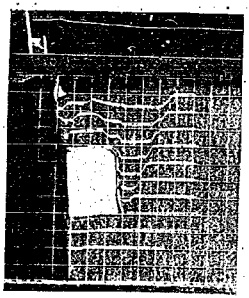
試驗の結果に依るに常時に於ては岸壁に接してその底部附近に置いた場合に最も效果が大である．この附近に壓搾空氣を用ひてモルタルを注入する事は施工の際の岸壁安定上から言つて十二分の注意を要すると思ふが，適當に施工された上はこの位置が土壓力輕減に對しても又岸壁底部前趾の周りの力率輕減に對しても最も效果がある事が試驗の結果に表はれてゐる．之は計算の上からも略ゝ推論出來る事であつて地震時に於ける安定に就て考へても (1) 及 (2) よりもこの (3) の位置（第 5 圖參照）が最も良い樣に思はれる．(1) 及 (2) に置いた場合の方塊も置かない場合に對する效果は第 5 圖に依れば極めて明瞭であるが，清水港の場合に就て計算した第 7 圖に依るに (1) 及 (2) の位置では模型試驗に於ける程效果がない．卽ち清水港の場合には特に (3) の位置を選ばなければならぬと思ふ．振動試驗の結果によれば，振動中の壓力增大の量は方塊のある場合の方が稍ゝ大である樣に見える．卽ち裏込中の適當の位置に方塊を置く事は常時土壓輕減には大いに效果があるが，地震時

1) 土木試驗所報告 22 號

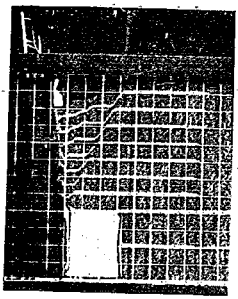
に増大する土壓力に對しては效果を期待出來ない．地震時に働く全土壓力は（常時土壓力）と（地震時に增大する力）との和であるから絕對値としては方塊の效果を現はしてゐる事は勿論である．卽ちこの振動試驗結果を常時の試驗と綜合して考へても (3) の位置が良いと結論出來る事に變りはない．尙實驗後の崩壞面の位置を示す寫眞を次頁に掲げたから參照されたい。



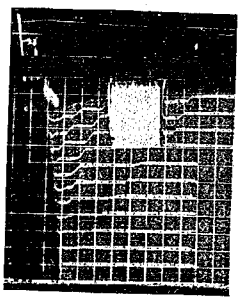
(1)



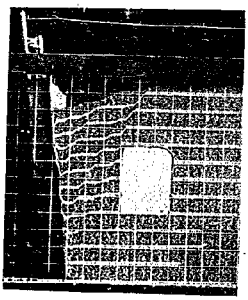
(2)



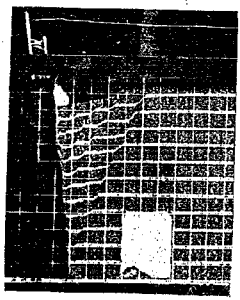
(3)



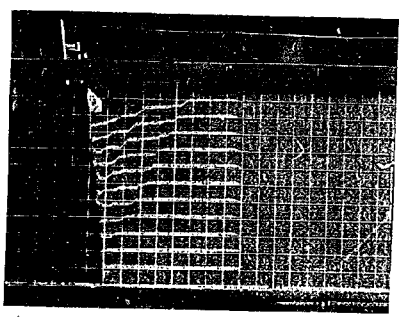
(4)



(5)



(6)



(7)

実験後の崩壊面の位置を示す寫眞

各寫眞下の番號は方塊の位置を示す.(第5圖參照) 寫眞の左方が壁面. 白い矩形部分が方塊側面

コンクリートの熱的性質に關する試驗(第I報)*

鋪裝コンクリートの比熱溫度傳導率熱傳導度並に空隙率含水率の之等熱的諸性質に及ぼす影響に就て (I)

內務技師　島　田　八　郎

內容梗概

鋪裝用コンクリートの氣溫變化による繰返し應力を算定し，更に其の減少を計る爲めの一主因をなす溫度傳導度を特に侵水狀態に於て過渡法を使用し材齡5日～40日にわたり實測し，含水率，空隙率の影響する範圍を明かにし，コンクリートの溫度傳導度實驗を行ふに際し如何なる要素を考慮すべきやを論究し，將來行はんとする此種試驗研究の指針を得，同時にモルタル，セメントペーストに就て同樣の試驗を行ひ，コンクリートとの相互の關係特に骨材の溫度傳導度に及ぼす影響を明かにす．

目　次

I. 總　說……(2)
[1] 緒　言……(2)
[2] 混合材料の性質……(2)
[3] 試驗體作成……(3)
II. 試驗方法に就て……(4)
[1] 序　說……(4)
[2] 試驗裝置並に方法……(5)
[3] 理論數學算式……(7)
III. 基層用コンクリートに關する實驗結果……(15)
[1] コンクリート……(15)
[2] モルタル……(17)
IV. 上層用コンクリートに關する實驗結果……(19)
[1] コンクリート……(19)
[2] モルタル……(21)
V. セメントペーストに關する實驗結果……(23)
[1] 序　說……(23)
[2] 實驗結果……(23)
VI. コンクリートの比熱(熱容量)空隙率並に熱傳導度に就て……(27)
[1] 序　說……(27)
[2] 各試料の眞比重，見掛比重及び空隙率……(27)
[3] 各試料比熱及び熱容量……(30)
[4] 各試料熱傳導度 (λ)……(31)
[5] 使用骨材の熱的特性……(32)
VII. 溫度傳導率試驗後に於けるコンクリートの强度試驗……(34)
VIII. 熱的諸性質並に空隙率含水率相互の關係に就て……(36)
[1] 序　說……(36)
[2] 溫度擴散率並に熱傳導度と骨材組成及び空隙率との關係……(36)
[3] 熱傳導度と含水量との關係……(40)
IX. 要　約……(42)

* 實驗及び其の整理には本所土屋直君の多大なる助力を預はした．

I. 總　　說

[1] 緒　言

コンクリート鋪裝の設計及び工法の研究に際し氣象作用中溫度による影響は其の主要なもの>1である．其の結果蒙る影響は種々考へ得るも少くとも1日を週期とせる繰返し熱應力をコンクリート鋪裝版に與ふ．殊に基層，上層用と成分の異るもの>相接せる場合兩者の間に不連續な應力の分布を生じ得．藤井技師のコンクリート鋪裝版に及ぼす氣象作用の影響の報告によるも，其の傾向を明かに知り得．鋪裝版に生ずる應力は膨脹係數，彈性係數等によるも一方熱傳導度，溫度擴散率等熱的特性による事も頗る大である．コンクリートの熱傳導度，溫度擴散率の實驗として濱田氏，A.P. Carman, R.A. Nelson 等の研究あるも資料とせしコンクリートの配合は鋪裝用のものと異り且つ材齡も3週間以後のものが多い．殊に骨材の特性が明かでない場合が多い．本報告は現今鋪裝用として標準化されてゐる基層用，上層用二種のコンクリートに就き溫度擴散率の試驗を可及的若材齡の資料に就て行ひ一方比熱及び含水狀態による熱容量をも測定し熱傳導率の値を求む．斯くして鋪裝コンクリートの熱的性質に關する資料を得，進んで溫度擴散率に及ぼす骨材，セメント硬化物の影響を考察し其の特性を明かにした．同時に比較研究の爲めにモルタル，セメントペーストに就ても全く同樣の實驗を行ひ相互の關係を論じ一般的に其の特性を明かにする必要及び可能性を示した．

[2] 混合材料の性質

本試驗コンクリートに使用せし混合材料は鋪裝コンクリートの研究の統一上先に藤井技師の力學的性質の研究に於けるものと全く同じ產地粒度の骨材及びポートランドセメントを使用した．各々の成分は第 1, 2, 3 表に示す．特に注意を要するは砂利の性質にて緻密堅硬質なると多孔質なるとにより熱傳導度著しく異るものである．

(1) **ポートランドセメント**　淺野セメントにて試驗成績第1表の如し．

第 1 表　セメント試驗成績

比重 3.141　粉末度 1.6%

凝結時間（18%　水 25%）　初發 2時間 6分　終結 3時間 6分

材齡 日	引張 比重	引張 強度 kg/cm²	壓縮 比重	壓縮 強度 kg/cm²
3	2.35	28.6	2.30	420
7	2.38	35.7	2.32	521
28	2.38	42.3	2.33	632

W/C 比，　引張 29.2%, 壓縮 30.0%

（2）砂利，砂　共に茨城縣關本村鬼怒川産のものにて，砂利は徑 38 mm 以下のものを使用す，粒度其の他品質は第 2，3 表に示す．但し試驗方法は總て試驗所標準試驗法による．砂利の石質は主として石英粗面岩，安山岩，硬岩より成り小量の石英斑岩を混ず．砂は石英硅岩が大部分を占め角閃石，石英粗面岩を混ず．後節比較の爲め多摩川産の砂利の溫度擴散率を實測せるも砂岩を主とし 20% 程度の硬砂岩を混ず，從つて岩石學的に可成り異る成分のものである．

第 2 表　砂 利 試 驗 成 績

篩 (mm) 通過　殘留	粒　狀　%	殘　留　%	比　重	比 粒 數 個/kg
38.10～31.75	23.3	23.3	2.60	14.3
31.75～25.40	20.0	43.3	2.57	24.5
25.40～19.05	25.3	68.6	2.56	43.2
19.05～12.70	22.4	91.0	2.57	112.6
12.70～ 6.35	8.6	99.6	2.58	465.8
6.35～ 4.76	0.4	100.0	2.58	4641.1

見掛比重　輕裝 1.600　　空隙率　輕裝 0.38
〃　　密裝 1.706　　〃　　密裝 0.34
沈 土 量(%)　0.5　　磨 損 率(%) 3.22

第 3 表　砂 試 驗 成 績

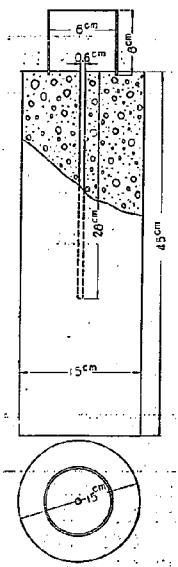
篩 (mm) 通過　殘留	粒　狀　%	殘　留　%	
4.76 ～2.38	5.33	5.33	眞比重　2.65
2.38 ～2.00	0.80	6.13	見掛比重　輕裝 1.450
2.00 ～0.85	14.97	21.10	〃　密裝 1.584
0.85 ～0.59	14.99	36.09	空隙率　輕裝 0.455
0.59 ～0.36	21.10	57.19	〃　密裝 0.405
0.36 ～0.297	19.58	76.77	沈 土 量 % 0.68
0.297～0.177	19.61	96.38	
0.177～0.149	2.40	98.78	
0.149～0.074	1.18	99.96	
0.074	0.04	100.00	

[3] 試驗體作成

直接の目的は鋪裝基層用，上層用コンクリートに對する實驗であるが比較研究の爲め同一水/セメント比のモルタル，セメントペーストをも作成し全く同樣の試驗を行つた．元來

第 4 表

名稱	配合	水セメント比
基層用コンクリート	1：3：7	0.8
上層用コンクリート	1：1.5：3	0.41～0.4
モルタル	1：3：0	0.8
モルタル	1：1.5：0	0.41～0.4
セメントペースト	1：0：0	0.4
セメントペースト	1：0：0	0.3



第1圖　供試體の形狀を示す

コンクリート，モルタル等に於て空隙率一玆では(水)+(空氣量)の總和容積を意味す—最小値を與ふ水/セメント比は互に異るものとされてゐるが先づ砂利，砂のセメント硬化中に於ける吸水作用を度外視し水/セメント比の同値のものを作成した．W/C 比の決定にはコンクリートの施工軟度として基層用にはスランプ 1 cm，上層用に對してはスランプ 2 cm を與ふる樣基準を定め各々の場合 W/C 比を 0.8; 0.4 とす．卽ち試料の配合は第4表に示す如きものである．試料は手練法により深さ 10 cm毎に鐵棒にて所定の如く搗きつゝ填充裝入す．約 24 時間後型より取外し 18°C の恒溫水槽中にて水中養生を行ひつゝ實驗す．試驗體は各種のもの1個づゝ作成した．コンクリートの如き不均一系の材料試驗に於て各種配合に對し資料一個のみにては可成り不確實と考ふるも力學的試驗の場合と異り實驗値の變動し得る機會少く且つ豫備試驗の意味にて全體の傾向を知る爲め上記の如く行つた．試驗體は第1圖に示す如き直徑 15 cm，高さ約 45 cm の圓壔にて中心部に直徑 0.6 cm，長さ約 28 cm の圓筒形穴を穿つ．圓壔上面には直徑8 cm，高さ 8 cm のブリキ圓筒を植込み，試驗中直接高溫度の水の試驗體中心穴に浸入するを防ぐ．

試驗體とし水中養生中のもの又は空氣養生期中のもの其の孰れを採るべきやは試驗の目的により異り，力學的性質の試驗に於ては水中養生のものが確實な結果を與へる．殊に若材齡期に於ては乾燥進行の爲め供試體が內部的に可成り一樣性でなく熱傳導度は含水量により著しき影響を蒙るものなれば材質の不均一性は可及的に避ける必要がある．斯かる理由により供試體は型外し後約三週間は水中養生を行ひつゝ實驗を繰返す．實驗の結果は豫期せる如く確實な結果を得更に含水による影響をも明かにし得．

II. 試驗方法に就て

[1] 序說

コンクリートの溫度擴散率 (k^2) は一般に熱傳導理論の示す如く熱傳導度 (λ)，比熱 (C)，

密度（ρ）等より（1）式により與へられる．

$$k^2=\frac{\lambda}{[C\rho]} \quad \cdots\cdots(1)$$

然るにコンクリートは硬化現象の進行性より見るも材齡により品質に可成り著しき變化を來すものと推測さる．從つて比熱（C），密度（ρ）も各材齡に應じ求める必要がある；狀態によつては實測が困難となる．殊に硬化の際に必然的に伴ふ發熱の影響を考慮に入れ溫度擴散率の實驗を行ふ必要がある．一方熱傳導度（λ）も其の物理的意義を明かにしをく必要がある．盖しセメントの硬化理論を參照するに混和に使用せし水分の一部分及び外界より滲透し來りし水の作用による和水用により水の一部分が結晶水に變る．且つ作用はセメント微粉子の周圍より內部に及ぶもので簡單に其の性狀を述べる事は出來ないが今ゾル的の狀態を度外視し簡單に H_2O の變態を二種に分ちコンクリート內に存在するものとす．卽ち　H_2O—(1) 結晶水的のもの膠潤水をも含ましむる

(2) 自由水：吸着性，滲透性のもの

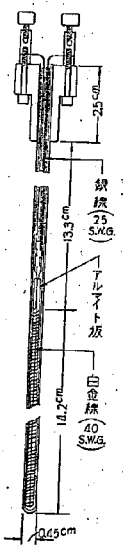
吸着性，滲透性のものは時に表面張力によるもの及び重力水をも意味す．(1) のものは勿論外界の影響により促進阻害されるも元來セメント硬化に伴ふ必然的の現象である．(2) のものは直接に外界の影響を蒙るものである．從つて材齡により水中養生を行ふも兩者は含有割合は著しく異るもので單に水中養生期中の重量變化のみよりして兩者を判然と區別する事は困難であるが熱傳導實驗に於て自由水の影響は著しいものである．元來熱傳導實驗に於ては溫度傾度による慣性抵抗なき熱量の移動を測定するもので若し自由水の如く慣性を有し，溫度傾度により移動可能なるものが存在せる場合には等溫的に實測せざれば自由水の影響を除く事が出來ない．玆に云ふ等溫的とは熱力學的でなく時間的及び位置的に平均をとりし場合を意味するもので實際上熱週期法に於て振幅及び週期を可及的小とする事により如何なる程度にも理想的の場合に接近し得．然れども斯かる影響僅少なる場合卽ち自由水含有するも空隙の形狀により宛も自由に非ざる樣に熱を傳ふ場合にて，溫度により溫度擴散率の變化する傾向を簡單に明かにせんとする爲め或溫度範圍に於ける過渡法（Transient method）による方が適切である．コンクリート，モルタルの如きものにては供試體斷面に溫度傾度の存在せる事の影響は砂等の如き粒狀物質の場合に比し僅少と推測し，第［2］節に記述する如く此方法を使用した．從つて實驗結果に細心の注意を拂ひ其の影響の有無を確める事を要す．本試驗に使用せし過渡法の詳細等は次節に述べる．

［2］ 試驗裝置竝に方法

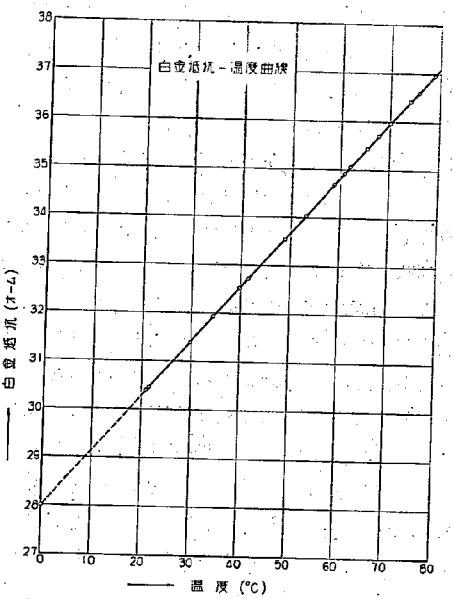
實驗方法としては一定の溫度に保たれた試料の外部の溫度を急に變ぜし場合試料中心部の溫度上昇の時間的變化を測定し溫度擴散率を算定す．常に 2 個の恒溫水槽を使用し最初

一方の恒溫水槽內に於て水槽溫度と中心溫度との差 0.1°C 以下の差にて一定となりし後他の高溫度 (60～70°C 位) に保てる恒溫水槽內に試料を入れ中心部に挿入せる白金抵抗溫度計により溫度變化を測定した. 通常最初の恒溫水槽中に 24 時間保つた.

第 2 圖は白金抵抗溫度計を示すものにて S.W.G. 40# の白金線條をアルマイト絕緣板に長さ 14.2 cm にわたり卷きしもので外部の硝子管外徑は 0.45 cm にて第 1 圖の徑 0.6 cm の穴に水銀を入れ然る後挿入す. 第 3 圖は同白金抵抗線の溫度による抵抗值の變化を

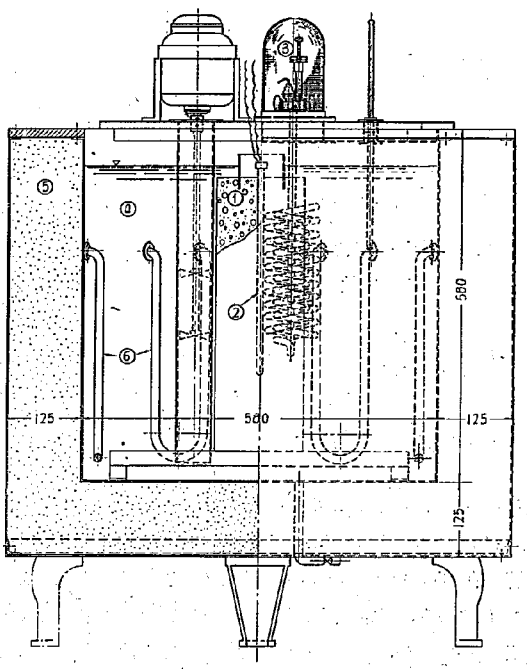


使用白金抵抗溫度計
第 2 圖



使用白金抵抗溫度計の電氣抵抗と溫度との關係
第 3 圖

示すもので 20°C～80°C の溫度範圍に約 30.3Ω～37Ω の程度に變化す. 第 4 圖は使用せし恒溫水槽を示すものにて構造は至つて簡單なれば全部省略す. 抵抗溫度計は常に「ホイートストン」橋により抵抗值を求む. 溫度擴散率は二日をき毎に測定せしもので供試體の重量を各實驗の前後に實測し各養生期を通じ如何なる變化をなすやを明かにす. 但し水中養生期に於ては溫度擴散率實驗後のみ重量を測る. コンクリート製作後約 3 週間程度までは水中養生狀態に保ち其の後は實驗室內に放置しをき自然乾燥を行はしめ實驗中のみ水中



第4圖　實驗裝置

に浸入せる狀態となる．從つて供試體の重量變化も水中養生明の場合に比し複雜な變化を示すものである，斯かる變化より見掛上の比重及び含水量等の傾向を明かにす．

［3］ 理論數學算式

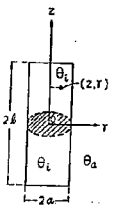
實驗方法に對する溫度擴散率を求むる數式は二，三の假定をすれば至極簡單である．コンクリート等の如く自由水を含有せる場合は勿論の事結晶的性質を有する場合も嚴密には下記の假定は成立たない樣である．最も簡單の場合熱的常數は總て

（1） 溫度に無關係とする　（2） 位置及び時間的に無關係とする

の假定の下に計算を行ふ．斯かる場合本實驗の如き限界條件にては第5圖の如くなる．斯かる場合熱傳導式 (2) は直ちに解き得．

限界條件；$t=0$ に於て

$$\left.\begin{matrix} r<r_a \\ |z|<l \end{matrix}\right\} \text{に對し} \quad \theta=\theta_i \quad \text{常數}$$



第 5 圖

$$\left.\begin{matrix} r>r_a \\ |z|>l \end{matrix}\right\} \text{に對し} \quad \theta=\theta_a \quad \text{常數} \qquad \cdots\cdots(1)$$

$$\left.\begin{matrix} \dfrac{d\theta}{dt}=k^2\left(\dfrac{\partial^2\theta}{\partial x^2}+\dfrac{\partial^2\theta}{\partial y^2}+\dfrac{\partial^2\theta}{\partial z^2}\right) \\ k^2=\dfrac{\lambda}{C\rho} \end{matrix}\right\} \qquad \cdots\cdots(2)$$

$$\theta=\theta_a-(\theta_a-\theta_i)\Sigma I(r)\Sigma II(z) \qquad \cdots\cdots(3)$$

但し，k^2＝溫度擴散率，λ＝熱傳導度，C＝比熱，ρ＝密度……を示す．

$\Sigma I(r)$，$\Sigma II(z)$ は (4) 式の如き級數である．

$$\left.\begin{matrix} \Sigma I(r)=\displaystyle\sum_{s=1,2,3,\cdots}^{\infty}\frac{2}{\lambda_s J_1(\lambda_s)}J_0\left(\frac{\lambda_s}{a}r\right)\cdot e^{-k^2\left(\frac{\lambda_s^2}{a^2}\right)t} \\ \Sigma II(z)=\displaystyle\sum_{m=1,3,5,7,\cdots}^{\infty}\frac{4}{\pi m}\sin\frac{m\pi}{2l}(z+l)\cdot e^{-k^2\left(\frac{m^2\pi^2}{4l^2}\right)t} \end{matrix}\right\} \qquad \cdots\cdots(4)$$

但し，λ_s：$J_0(\lambda_s)=0$ …の 1，2，…次の根とす．J_0，J_1 …は 0 次，1 …次のベッセル函數，$2l$＝圓壔の高さ，$2a$＝圓壔の直徑…を示す．

$\Sigma II(z)$ は圓壔の軸方向に於ける影響を示すもので一般に l の大なる場合 1 に等しきも 1 より稍〻小なる値である．通常直徑高さの 1/3 程度の場合中心に於ては殆んど影響なく全く $\Sigma II(z)$ 項は度外視し得．先づ $\Sigma I(r)$ 項のみの計算を行ひ然る後二，三 $\Sigma II(z)$ に就ても其の影響する程度を明かにす．

計算の順序とし本實驗資料程度の k^2 値に對する $\Sigma I(r)$ 項卽ち

$$\frac{\theta_a-\theta_i}{\theta_a}=1 \quad \cdots\text{に對する (3) 式の與ふ} \frac{\theta}{\theta_a}\cdots\text{の傾向を}$$

必要な $\left(\dfrac{r}{a}\right)$ に對し計算し圖示し置く．計算に使用せし k^2 値とし $\Sigma I(r)$ 項を參照し

$a=1$ cm に對し $k^2=0.00001\sim0.005$ (C.G.S.)

の範圍にとる，便宜上 $k'^2=\left(\dfrac{k^2}{a^2}\right)$ と置けば k'^2 を上記の範圍にとる．$a=7.5$ cm の本實驗供試體の場合溫度擴散率 k^2 は

$\fallingdotseq0.000556\sim0.281$ (C.G.S.)

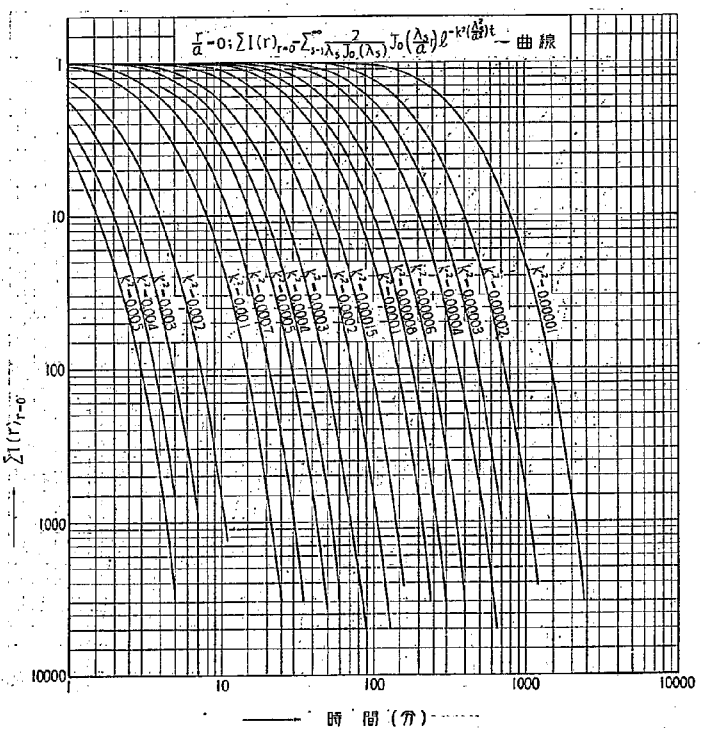
の範圍にとる事となる．總て單位は calorie, cm, gr., sec, °C; とす．從つて k^2 は [$cm^2\cdot sec^{-1}$]，λ＝calcm^{-1}, sec^{-1}, °C^{-1} と了解され度し．上記の $k^2(k'^2)$ の値は一般の土木材料を總て包含せるものである．計算表は全部省略すも其の結果は實用上利用し得る機會大な

るが故に圖示した．尙ほ參考の爲め中心以外の半徑位置に於ても計算す．卽ち

$$\frac{r}{a}=0;\ 0.4;\ 0.6;\ 0.8\cdots\cdots$$

の 4 種に對し $\Sigma I(r)$ を求めた．$\Sigma I(r)$ は可成りよい收斂級數で計算には $I(r)$ が 0.0001 程度以下になる項までの總和を求めた．計算の際如何なる時間まで $\Sigma I(r)$ を計算すれば其の際加算せし $I(r)$ の最小値が 0.0001 程度になるかを第 5 表に示す，卽ち後に添附せし圖面は各 k'^2 の値に應じ第 5 表に示す時間計算せるものである．

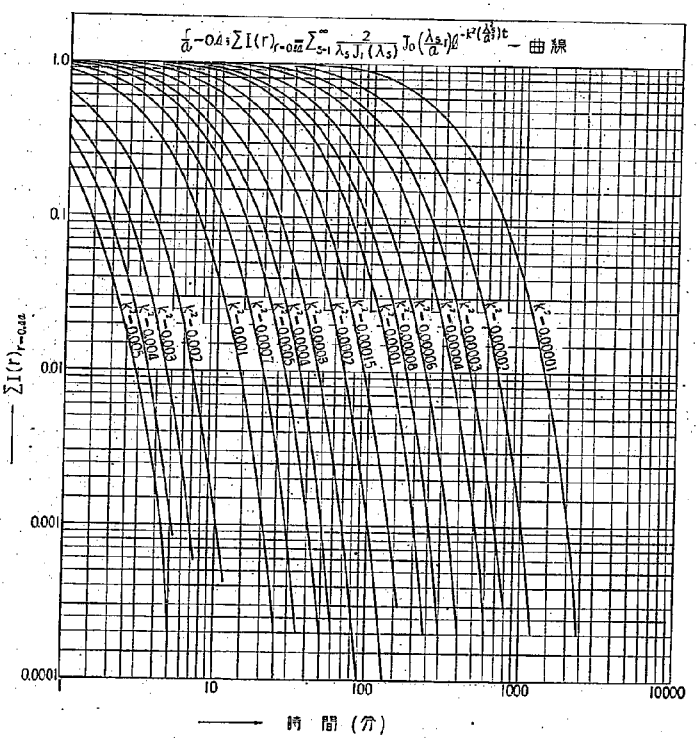
以上の如くして k'^2 卽ち $a=1$ cm に對する k^2 値に對應する $\Sigma I(r)\sim t$ 曲線を $\frac{r}{a}=0;\ 0.4;\ 0.6;\ 0.6;\ 0.8\cdots\cdots$の各半徑に於て求めた．第 6 圖～9 圖に此等を示す．



第 6 圖

第 5 表　k'^2～t と $\Sigma I(r)$ 計算に於ける $I(r)$ の最小値との關係

k'^2	t (分)	$I(r)$ min	k'^2	t (分)	$I(r)$ min
0.005	5	0.0003	0.0002	130	0.0002
0.004	7	0.0009	0.00015	180	0.00013
0.003	9	0.0001	0.0001	280	0.0002
0.002	13	0.0002	0.00008	330	0.0002
0.001	25	0.0002	0.00006	430	0.0002
0.0007	35	0.0002	0.00004	650	0.0002
0.0005	50	0.0002	0.00003	800	0.00038
0.0004	60	0.0002	0.00002	1200	0.00038
0.0003	90	0.0002	0.00001	2600 …	0.0002



第 7 圖

第6圖: $\frac{r}{a}=0$, $a=1$ の $\Sigma I(r)\sim t$ 曲線

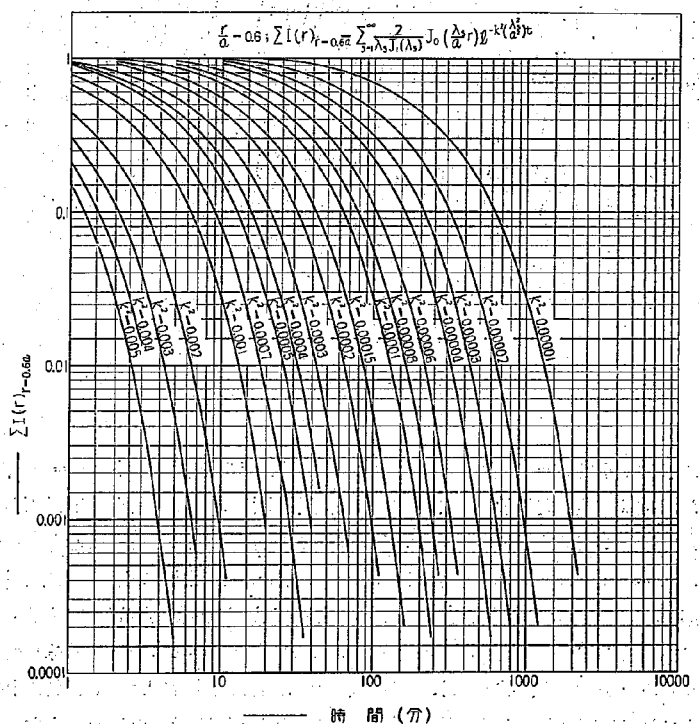
第7圖: $\frac{r}{a}=0.4$, $a=1$ の $\Sigma I(r)\sim t$ 曲線

第8圖: $\frac{r}{a}=0.6$, $a=1$ の $\Sigma I(r)\sim t$ 曲線

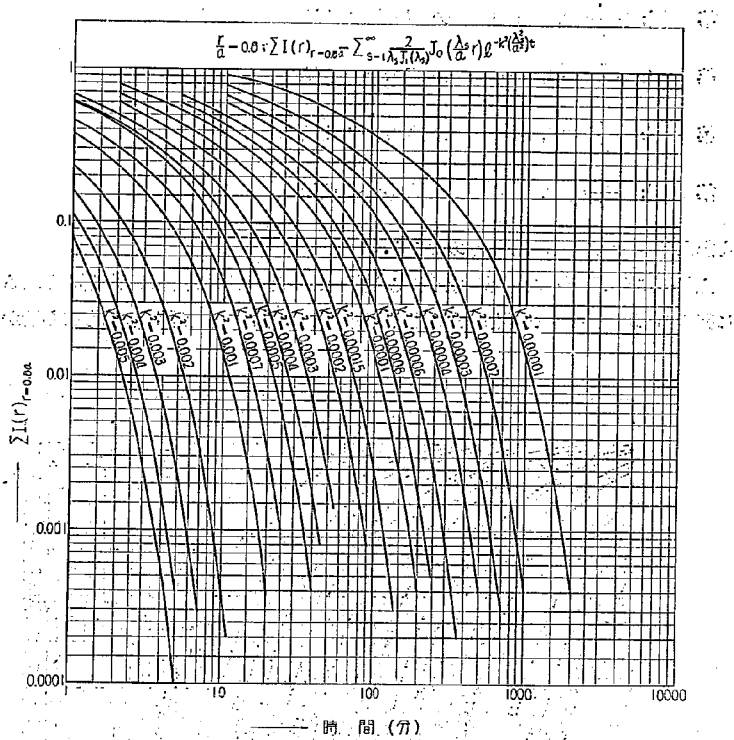
第9圖: $\frac{r}{a}=0.8$, $a=1$ の $\Sigma I(r)\sim t$ 曲線

を記入せる k^2 に對し求めしものである．

上記の如く $\Sigma I(r)\sim t$ 關係は求め得るも實驗と比較するには以上の曲線群より或る時間に對する $\Sigma I(r)\sim k'^2$ の關係を求めをく必要がある．第10圖は第6圖より得し斯かる關



第 8 圖



第 9 圖

係である．圖面には t=600 秒，1200 秒 より 6000 秒に至る 10 分毎の中心 (r=0) に於ける $\Sigma I(r)$ 即ち溫度減衰係數と單位半徑圓壔の溫度擴散率，$k'^2=k^2/(\text{半徑})^2$ との關係を示すもので實驗には常に同圖表を使用す．全く同樣の事を第 7，8，9 圖よりも導き得るも省略す．r/a=0.8；0.6；0.4…… の場合は r/a=0 の場合に比し急激に外部溫度に近づくもので第 7，8，9 圖等は對數座標を用ひず直角座標にて示せば明瞭に表示し得るも省略す．

次に本實驗に使用せる溫度計の寸法より (4) 式の $\Sigma II(z)$ 項の影響をも吟味し置く．第 2 圖より明かなるも抵抗溫度計の $2h$=14.2 cm の部分が測定部となり，試料の中央部に插入されてゐる．從つて上下兩部の位置を與ふ Z～座標 は $Z=\pm$7.1 cm となり圓壔の全長の $1/2l$ の約 33.3% に相當す．(4) 式の $\Sigma II(z)$ の傾向を明かにする爲め，下記の

試料中心ニ於ケル減衰係數～温度擴散率曲線
$u=\frac{\theta_a-\theta}{\theta_a-\theta_i}\sim k'^2$ Curve
$k^2=k'^2\times a^2$
a－試料半径
600 sec
1200 sec
1800 sec
2400 sec
3000 sec
3600 sec
4200 sec
4800 sec
5400 sec
6000 sec
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.00001
0.00005
0.00010
0.00015
0.00020
0.00025
0.00030
0.00035
0.00040
0.00045
0.00050
u（減衰係數）
k'^2（温度擴散率）

第　10　圖

如き條件に對し計算す.

溫度擴散率, 0.001; 0.003; 0.006; 0.009 (cm^2t^{-1}) の 4 種

圓壔全長 $2l=45$ cm, $2h=15$ cm とし $z=0$; $\frac{h}{2}$; h; ……の三位置を與ふ

$\Sigma II(z)$ の各項は 0.0001 以下まで正確に計算し $\Sigma II(z)$ の値とし 0.001 までは必ず正確なる樣項數を定む.

$\sum_{m=1,3,5,\ldots} II(z)$ の級數は可成り項數を多數とる必要あり常に溫度擴散率 (k^2) の大なる程度短時間の間に $\Sigma II(z)$ は 1 より小なる値を示し, 其の影響が表れて來る. $k^2=0.001$～0.009 は通常のセメント硬化物, モルタル, コンクリートの値にて $k^2=0.003$(C.G.S.)cm^2t^{-1} に對して $z=h$ の位置にては 50 分にて $\Sigma II(z)\fallingdotseq 0.999$, 90 分にて 0.992 程度となる, $z=0$, $h/2$ に於ける影響は更に僅少である. 計算せる結果より $k^2=0.006(cm^2t^{-1})$; $0.009(cm^2t^{-1})$ に對するものを第 6 表, 7 表に示す. 其の傾向を判斷し得.

第 6 表 $\sum_{m=1,3,5,\ldots}^{\infty} II(z)$ 表

$k^2=0.006$; $z=0$

時間(t)分	10	20	30	40	50	60	70	80
$\Sigma II(z)$	1.000	1.000	1.000	1.0002	0.9994	0.9989	0.9968	0.9942
最終 m	19	13	11	9	9	7	7	7

$k^2=0.006$; $z=h/2$

時間(t)分	10	20	30	40	50	60	70	80
$\Sigma II(z)$	1.000	1.000	0.9998	0.9995	0.998	0.9957	0.9912	0.9861
最終 m	17	13	11	9	9	7	7	5

$k^2=0.006$; $z=h$

時間(t)分	10	20	30	40	50	60	70	80
$\Sigma II(z)$	0.9997	0.9959	0.9986	0.9947	0.9875	0.9777	0.9652	0.9520
最終 m	19	15	11	7	7	7	7	7

第 7 表 $\sum_{m=1,3,5,\ldots}^{\infty} II(z)$ 表

$k^2=0.009$; $z=0$

時間(t)分	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Sigma II(z)$	1.000	1.000	0.9997	0.9996	0.9963	0.9894	0.9684	0.9684	0.9548	0.9394
最終 m	15	11	9	7	7	5	5	5	5	5

$k^2=0.009$; $z=h/2$

時間(t)分	10	20	30	40	50	60	70	80
$\Sigma II(z)$	1.000	1.000	0.9988	0.9956	0.9894	0.9787	0.9665	0.9511
最終 m	15	11	9	7	5	5	5	5

$k^2=0.009$; $z=h$

時間(t)分	10	20	30	40	50	60	70	80
$\Sigma II(z)$	0.9999	0.9985	0.9916	0.9770	0.9590	0.9371	0.9150	0.8918
最終 m	15	11	9	7	5	5	5	5

同表より明かなる如く $k^2=0.009\,(\mathrm{cm}^2\mathrm{r}^{-1})$ $z=h$ に對しては 30 分に至るも 1% 前後 $\Sigma\Pi(r)$ が減少するのみなれども 60 分に至れば 6% 程度に減少度が著しく增加す，卽ち $\Sigma\Pi(z)$ を度外しせる場合は溫度擴散率增大せるかの如く實驗される：$k^2=0.006\,(\mathrm{cm}^2\mathrm{r}^{-1})$ の場合も略ゝ同程度の誤差を生ず，$k^2=0.003(\mathrm{cm}^2\mathrm{r}^{-1})$ の場合は 60～70 分經過するも $\Sigma\Pi(z)$ の影響は 0.001 程度である．今比較的擴散率の大なる場合は實測開始後 30 分までを基準とし其の實測値を求むべきである．

III. 基層用コンクリートに關する實驗結果

[1] コンクリート

基層用コンクリートは交通荷重に對し主體的な支持版をなすもので其の力學的性質に就ては旣に藤井技師の研究がある．以下第 II 章に述べし方法と順序により溫度擴散率を實測す．供試體は第 4 表に示せし配合卽ち

$$1:3:7,\ \frac{w}{c}=0.8\ldots\ldots\text{コンクリート}$$

である，作成月日は昭和 11 年 5 月 4 日にて使用混和材量下記の如し．

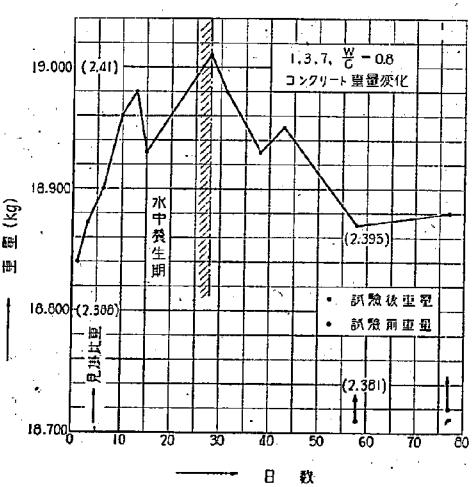
セメント	砂	砂利	水
1.680 kg	4.872 kg	12.544 kg	1.344 kg

最初型入れ 24 時間にて取外し計秤せしに

重量：18.840 kg　　圓壔高さ：44.7 cm

である．爾後材齡 28 日までは常に 18°C の恒溫水槽內にて水中養生を繼續し 2，3 日毎に別に設けたる所定溫度の 2 個の恒溫水槽を用ひ實驗せしもので實驗都度重量變化を實測す．28 日後は室內に於て自然乾燥を受けつつ全く同樣に實測を繰返す．第 11 圖は斯かる重量變化竝に見掛比重の變化を示すものである．

見掛比重は 2.39 より 2.41 程度まで增加し空氣中養生に至り 2.38 に減少し試驗中水分の滲透により 2.39 程度に增加す．

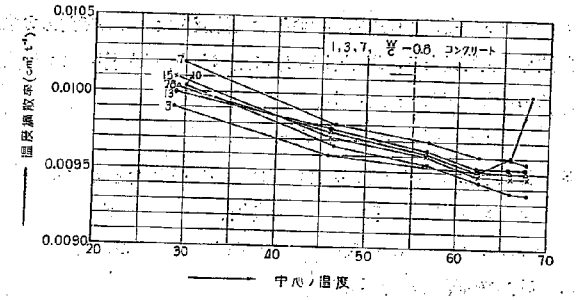


第 11 圖　實驗中に於ける供試體重量變化

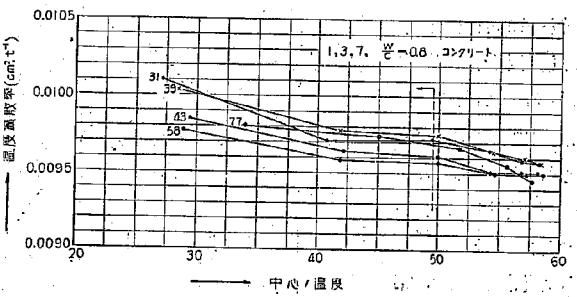
実験初温度 θ_i=20°C 程度

外部温度 θ_a=70°C～60°C 程度

で實驗す，II 章[3]に述べし如く $\Sigma II(z)$ 項の影響の度外視し得る時間を假りに 30 分とし實驗結果の圖面内に記入した．實驗に於ては θ_a 度の水槽に入れた時より 5 分毎に中心部の溫度變化を實測す．第 10 圖より各時間に相當し k'^2～値 を求め更に $k'^2\times(半徑)^2$ により求める溫度擴散率を得，第 12 圖 (a) (b) は斯くして求めた k^2～ と其の實測時の中心溫度との關係を示す．圖中縦に引ける點線は試驗開始後 30 分經過せる事を示す．同線より右側は兩端の影響が表れ見掛上 k^2 が大きく測定される．



(a) 水中養生期



(b) 室内自然乾燥期

第 12 圖 1:3:7, $\frac{W}{C}$=0.8 コンクリート溫度擴散率と試料中心溫度との關係

溫度擴散率 (k^2) の全體の傾向は第 12 圖 (a), (b) により明かなれども其の主なるものを列擧す．

(1) 平均溫度高き程 k^2 は減少する傾向を示す．

（2）材齡 3, 7 日と一旦著しく增加するも其の後減少する傾向を示すも材齡による變化は實驗範圍に於ては力學的性質ほど著しくない.

（3）材齡小なる 3 日の實驗結果は時間の（圖には中心溫度の增加にて示さるも）進むに伴ひ中心溫度の上昇速かとなり k^2 が見掛上大きく實測される.

（4）室內自然乾燥養生期の實驗結果も材齡と共に減少する傾向が現れてゐる. 其の程度は至つて僅少である. 最終の材齡 77 日のものは稍〻增加せる傾向を示すも全體として著しい變化がない.

上記の實驗結果に對する論究すべき事柄は後節取纏め述べんもコンクリートの如き物質の一般的傾向を明瞭に表現せるものである. 供試體の眞比重は空氣養生期最終のものより測定せしもので後章に詳細に記述す. 斯くして基層用コンクリートに關する溫度擴散率は第 8 表の如く表示し得.

第 8 表　1 : 3 : 7, $\frac{W}{C}=0.8$　コンクリート試驗成績

	眞比重	見掛比重	溫度擴散率 ($cm^2 \cdot h^{-1}$)
水中養生期	—	2.39～2.41	$\frac{0.0102}{0.0099}$(30°C)～$\frac{0.0096}{0.0094}$(70°C)
空氣中養生期	2.60	2.36～2.39 實驗前後	$\frac{0.01010}{0.00975}$(28°C)～$\frac{0.00960}{0.00945}$(58°C)

但し（ ）內溫度は測定時に於ける中心溫度の概略値を示す. k^2 は範圍を示すもので材齡による關係は別圖による.

コンクリートの溫度擴散率はセメント硬化物及びモルタルの特性と密接な關係を有するもので相互の關係を明かにす.

［2］モルタル

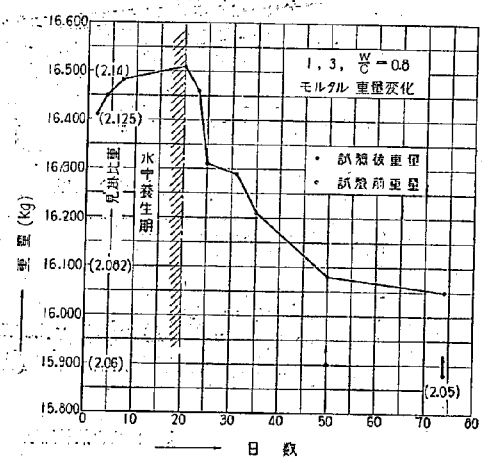
試驗體の作成, 取扱び竝に實驗方法總てコンクリートの場合と全く同樣なれば總て之を省略し實驗結果のみを記述す.

モルタル配合; 1 : 3 : 0,

W/C 比 0.8

作成供試體寸法; 直徑 15 cm,

高さ 43.7 cm



第 13 圖　實驗中に於ける供試體重量變化

第 13 圖は實驗中に於ける重量變化，比重變化を示すもので水中養生期に於ては變化緩慢なれども增加傾向を示し空氣養生期に至れば一旦乾燥により減少するも試驗中の水の滲透作用によりコンクリート見掛比重は 2.06 より 2.08 に變る程度であるが重量を增加す．溫度擴散率の實驗も特に異る事なく行ひ，其の結果は第 14 圖 (a), (b) に示すも其の傾向はコンクリートの場合と同一なるも種々な點に於て異るものである．主なるものを記述すれば

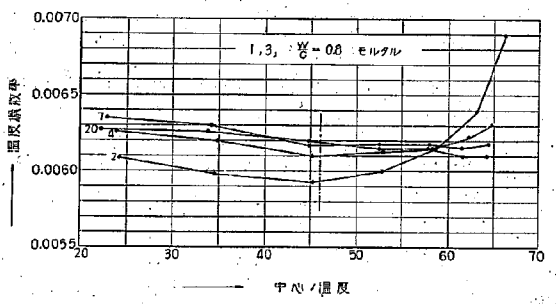
(1) コンクリートに比して溫度擴散率が著しく小である．

(2) k^2 の平均溫度による變化程度はコンクリートに比して著しくない．

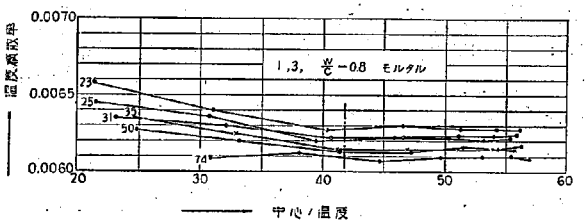
(3) 材齡 2, 4, 7 日まで其の材齡と共に k^2 の値增加するも其の後減少し來る傾は全く同樣であるが，本實驗の場合水中養生期より空氣養生期に變ぜし際 k^2 が不連續的に一旦增加した．

(4) 材齡 2 日の實驗ではコンクリートの 3 日の場合より時間經過に伴ひ k^2 が見掛上著しく增大してゐる．

以上の特性は第 14 圖 (a), (b) に顯著に現れてゐる．同圖は k^2～中心溫度の關係を示すもので (a) は水中養生期，(b) は空氣養生期に於けるものである．



(a) 水中養生期



(b) 室內自然乾燥期

第 14 圖　1 : 3, w/c=0.8 モルタル溫度擴散率と試料中心溫度との關係

實驗結果中主要なるものを表示すれば第9表の如くなる．後節空隙を測定するも本試驗用モルタルは上述せるコンクリートより空隙率稍〻大なるも溫度擴散率の減少度は更に著しい．後章に於て資料數僅少なれども，其の理由に就き二，三考察す．

第 9 表　1：3，w/c 比 0.8 モルタル試驗成績

	眞比重	見掛比重	溫度擴散率 ($cm^2 \cdot t^{-1}$)
水中養生期	—	2.12～2.14	$\frac{0.00635}{0.00610}$(22°C)～$\frac{0.0063}{0.0061}$(65°C)
空氣中養生期	2.55	2.05～2.08 實驗前後	$\frac{0.0066}{0.0063}$ (22°C)～$\frac{0.0063}{0.0061}$(56°C)

但し（ ）內溫度は測定時に於ける中心溫度の概略値を示す
養生方式の變化により k^2 は急に增加す

IV. 上層用コンクリートに關する實驗結果

［1］ コンクリート

上層用のものは直接交通車輪の摩擦作用に抗する部分なると同時に氣象作用の影響を直接蒙り，且つ基層用のコンクリートと相接する爲め，兩者の間に熱的性質著しく異る時は兩版の境界面に熱應力の急變がある．從つて力學的特に摩擦抵抗性等は著しく大なる版なるも熱的性質は基礎版と可及的同等のものなる事を要す．試料配合は第4表に示すも

1：1.5：3，$w/c=0.41$　コンクリート……

にて昭和 11 年 5 月 4 日作成し使用せし混和材量は下記の如し．

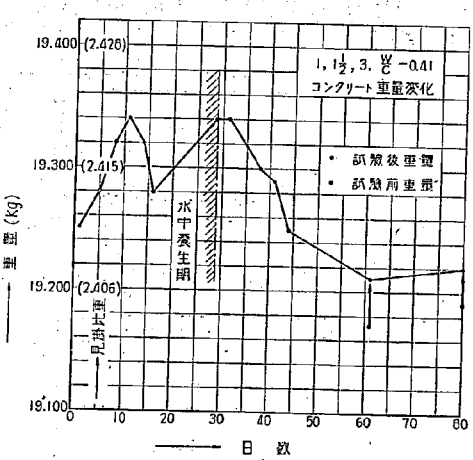
セメント	砂
3.392 kg	4.912 kg
砂利	水
10.848 kg	1.390 kg

型入れ後 24 時間にて取外し，18°C 恒溫水槽に水中養生を繼續した約 29 日後より室內自然乾燥狀態にをく．

型外し直後の供試體

重量：19.250 kg

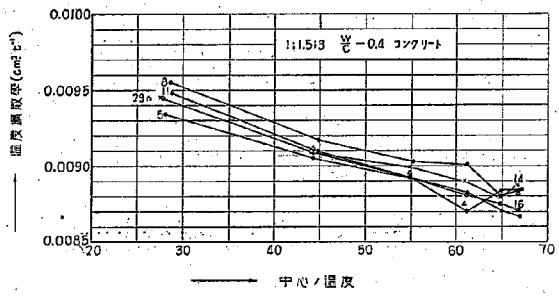
寸法圍壁高さ：45.3 cm



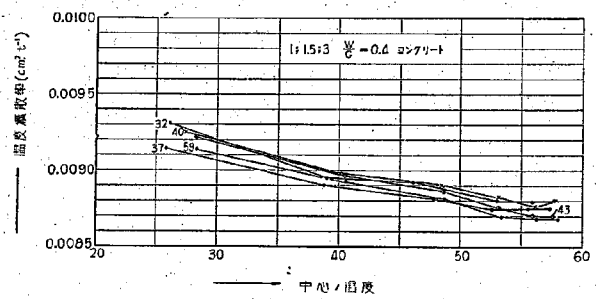
第 15 圖　實驗中に於ける供試體重量變化

である．温度擴散率實驗中に於ける重量變化等の測定は全く上記各實驗の場合と同樣に行つた．第 15 圖は重量變化を示すもので 1：3：7，w/c=0.8 コンクリートの場合に比して變化の割合が著しくない．

溫度擴散率實驗結果も全く基層コンクリートと同じ傾向であるが唯値其のものが稍〻僅少である．溫度により傾向などは全く樣々である．第 16 圖 (a)，(b) は水中室內養生兩



(a)　水中養生期



(b)　室內自然乾燥期

第 16 圖　1：1.5：3，$\frac{W}{C}$=0.4　コンクリート溫度擴散率と試料中心溫度との關係

第 10 表　1：1.5：3，$\frac{W}{C}$=0.4　コンクリート試驗成績

眞　比　重	見 掛 比 重	溫度擴散率 ($cm^2 \cdot t^{-1}$)
—	2.41～2.42	$\frac{0.0095}{0.0093}$ (30°C)～$\frac{0.0089}{0.0087}$ (70°C)
2.50	2.405～2.408 實驗前後	$\frac{0.00930}{0.00915}$ (25～26°C)～$\frac{0.00880}{0.00865}$ (56°C)

但し（ ）內溫度は測定時に於ける中心溫度の概略値を示す．

期の場合を示した．第 10 表に其の主なる結果を列擧す．

［2］ モルタル

試料の取扱ひ實驗方法全く上記各々の場合と同樣なれば省略す．試料配合は第4表に示すも

1：1.5：0, w/c 比 0.4 モルタル……

にて型枠より取外せし時直後の重量寸法略ゝ次の如し．

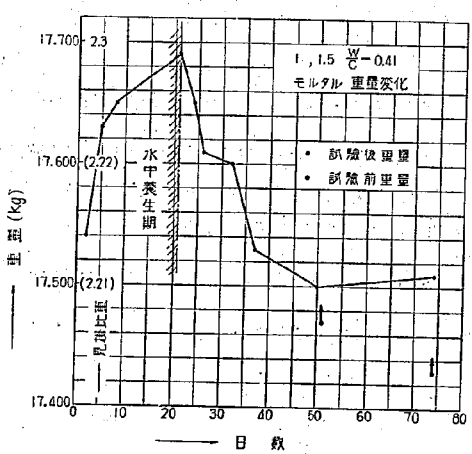
重量；17.460 kg　　圓壔高さ；44.95 cm

にて使用材料下記の如し．

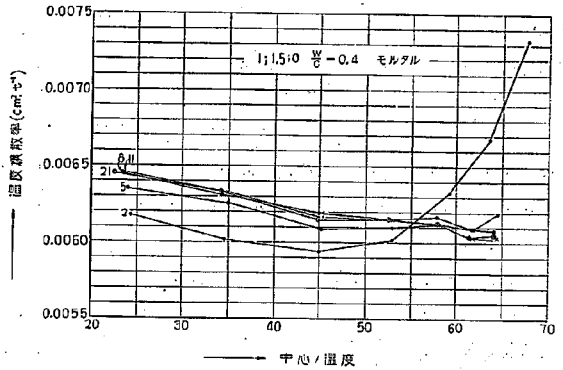
セメント	砂	水
8.000 kg	11.600 kg	3.280 kg

實驗結果に就ても特に著しき差異なく，上層用コンクリートに對する關係は全く基礎コンクリートのモルタルに對する關係と同樣である．即ち試驗前後に於ける見掛比重の變化及び溫度擴散率と溫度との關係に於ても全く同じ傾向を示してゐる．本試料には作製後材齡2日の結果あるも實驗中の中心溫度の上昇に伴ひ（實驗操作より見れば時間の經過に伴ひ）溫度擴散率が著しく增大してゐる．基層用の際述べし 1：3 モルタルと大差ない溫度擴散率を示してゐる．

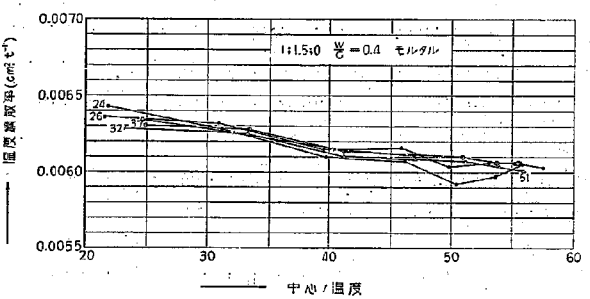
第 17 圖は試驗中に於ける重量の變化卽ち見掛比重の變化を示すものである，浸水狀態に於ける影響を推測する事を得．



第 17 圖　實驗中に於ける供試體重量變化



(a) 水中養生期



(b) 室内自然乾燥期

第 18 圖 1 : 1.5 : w/c 比=0.4 モルタルの温度擴散率と試料中心温度との關係

第 18 圖 (a), (b) は水中養生期及び空氣養生期中に於ける温度擴散率と温度との關係を示すもので説明省略するも傾向は上記のものと全く同様である. 第 17 圖, 第 18 圖より主要な結果は下記第 11 表の如く示し得.

第 11 表 1 : 1.5 (w/c=0.4) モルタル試驗成績

眞比重	見掛比重	温度擴散率($cm^2 \cdot t^{-1}$)
—	2.215～2.235	$\frac{0.00645}{0.0062}$(22°C)～$\frac{0.0062}{0.0061}$(55°C)
2.42	2.20～2.21 實驗前後	$\frac{0.0064}{0.0063}$ (22°C)～$\frac{0.0061}{0.0060}$(55°C)

但し ( ) 內温度は測定時に於ける中心温度の概略値を示す

V. セメントペーストに關する實驗結果

[1] 序　說

基層，上層用二種のコンクリート及び類似配合のモルタルに就て溫度擴散率を實測せるも兩者の間に絕對値に可成りの差異あり，又溫度に對する傾向も著しく異つてゐる．此等の特性を明かにするにはコンクリートの各成分の特性によるものと考へ得．從つて砂利，砂の凝結材として作用せるセメントペーストに就て全く同樣の實驗を行ひ其の特性を明かにしをく必要がある．此目的により可及的同一 w/c 比を有するセメントペーストを作成した．勿論砂利，砂の吸水性もあり見掛上の w/c は作成されたコンクリート，セメントペースト內のセメント硬化物の特質を比較する上からも頗る曖昧なものであるが，今深く立入らず斯かる數値を用ひた．

溫度擴散率實驗方法は全く各章と同一方法による．但し基層用の場合の如き w/c＝0.8 のセメントペーストにては作成に困難を感じ省略し下記二種の配合により供試體を作る．

w/c＝0.3 セメントペースト（N_I）

セメント	水	圓壔直徑	同高さ
16.800 kg	5.040 kg	15 cm	46.8 cm

w/c＝0.4 セメントペースト（N_{II}）

セメント	水	圓壔直徑	同高さ
15.600 kg	6.240 kg	15 cm	46.6 cm

一方セメントペーストは w/c にて强度は勿論熱的性質も異るものであるからコンクリートの熱的性質を明かにせんには各種 w/c 比のセメントペーストの熱的性質變化竝に同時に硬化形成されたものに就き空隙率は勿論更に適切な硬化を示す特性等を實測し相互の關係を樹立しをく必要がある．

[2] 實驗結果

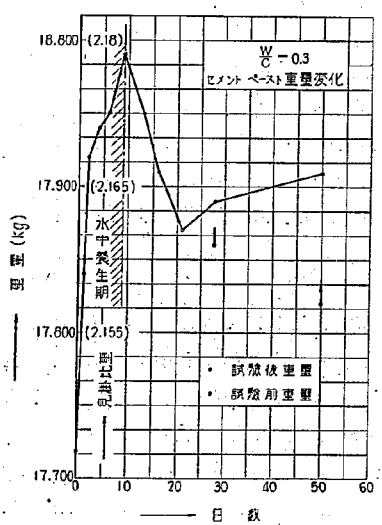
最初高溫度の恒溫水槽としてコンクリートの場合の如く 70°C 附近のものを使用せしに實驗中高溫度水槽に浸せし時に裂目の發生するが如き破裂音響を聞き材齡 1 日，2 日と實驗繼續せしも硬化進行と共に可塑性を失ふ爲めか，3 日後軸に直角になる龜裂を生じ實驗不可能となる．此の經驗によりセメントペーストの實驗には高溫水槽溫度として 45°C 程度のものをとり實驗す．70°C の場合の材齡小なる時期の溫度擴散率と溫度との見掛上の關係は全く同樣である．兩者を比較する事により本實驗の如き過渡法による時若材齡に於ては發熱又は自由水の爲め高溫度部の値により溫度擴散率は見掛上著しく異る事を示すものである．參考の爲め 70°C の場合の結果をも添附しをく．2 種のセメントペーストは全

く同様の重量變化及び溫度擴散率溫度關係を示すものであるが，w/c=0.3 の方が見掛比重も稍〻大に且つ溫度擴散率も 10% 程度大である．空隙率及び其の他の影響に關しては後に取纏めて述べる．第 19 圖，第 20 圖は試驗中に於ける供試體重量變化を示すものである．兩者共に水中養生中の見掛比重の增加する割合はコンクリート，モルタルの場合に比して可成り多い．溫度擴散率に關しては第 21 圖，第 22 圖に示すも兩者を通じて下記の如き事が著しい特性である．

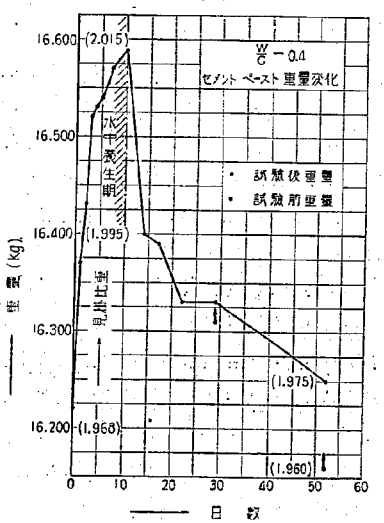
(1) 材齡の增加に伴ひ材齡 10 日前後まで一旦增加するも其の後空氣中養生期をも通じ大差なく傾向としては稍〻減少する樣である．

(2) 材齡 4 日前後までは試料中心溫度の增加と共に（今の場合實驗開始より測定時までの經過時間の增加と解する方が實驗結果の說明に都合よし）溫度擴散率增加するかの如き異常性を示すも，6 日以後のものは溫度に對する變化僅少にて溫度の增加に伴ひ稍〻減少する傾向あるも，全體としてコンクリート，モルタルに比し其の變化度が極めて僅少である．

(3) 溫度擴散率 (k^2) の絕對値はコンクリート，モルタルに比し著しく小である．骨材を含有する事により熱應力發生の原因の減少する事を示す．

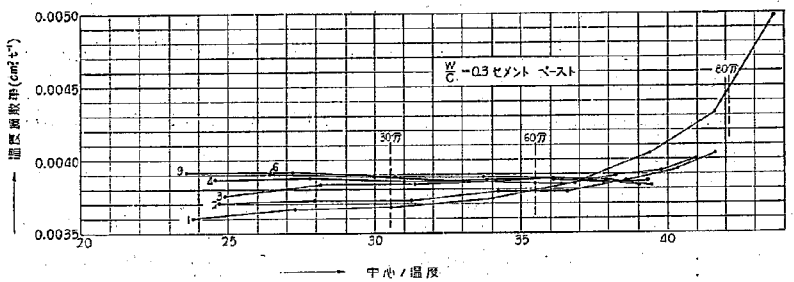


第 19 圖 w/c=0.3 セメントペースト實驗中の重量變化

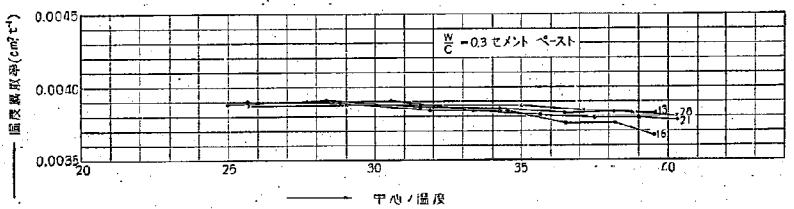


第 20 圖 w/c=0.4 セメントペースト實驗中の重量變化

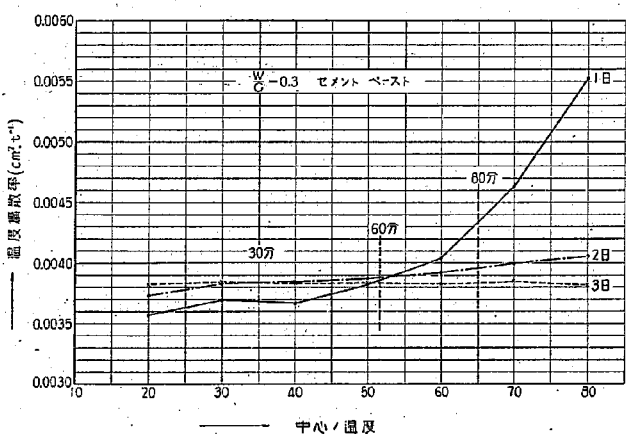
第 21 圖 (a), (b) は w/c=0.3 セメントペーストの溫度擴散率と中心溫度との關係を示すもので高溫部水槽溫度を 45°C とせる場合である. 第 21 圖 (c) は 70°C の場合にて兩者を比較する事により二, 三重要な結果を得. 今材齡 1 日のもの > k^2 値を考察する



(a) 水中養生期 (高溫恒溫槽約 45°C)



(b) 室內自然乾燥期 (高溫恒溫槽約 45°C)



(c) 水中養生期 (高溫恒溫槽約 70°C)

第 21 圖 w/c=0.3 セメントペーストの溫度擴散率と中心溫度との關係

に，横軸の座標單位を度外視すれば全く同じ傾向の溫度に對する上昇曲線であるが，若し圖示の座標により中心溫度 40°C 程度に於ける k^2 値をとるに (a) 圖，(c) 圖よりは著しく異る k^2 を與ふるも，實驗開始よりの經過時間 30，60，80 分と横座標單位を時間的に換ふれば略ゝ同じ程度の k^2 率を示す事が明かに分る．卽ちセメントペーストの場合は勿論既に述べしコンクリート，モルタル等の若材齡期に於ける異常性は其の成因の如何を問はず全く時間的影響にある事を確めた．

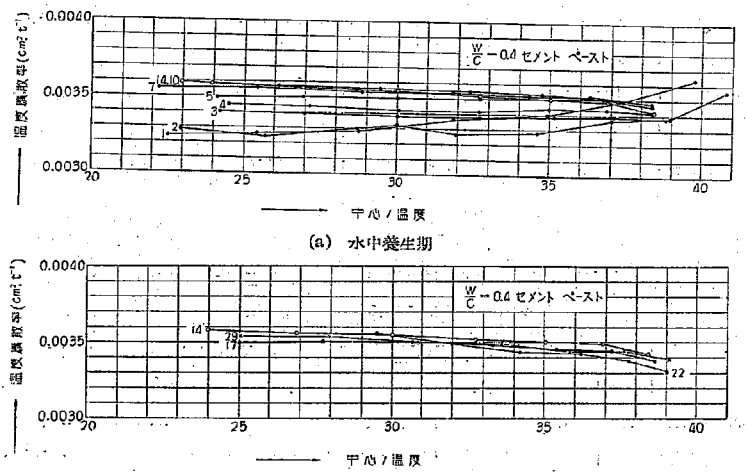
各圖面に就き說明は省略するも上記各章の場合と全く同樣である，主要なる結果を第 12 表に取纏めて示す．

第 12 表　w/c 比 0.3　セメントペースト試驗結果

眞　比　重	見掛比重	溫度擴散率 ($cm^2 \cdot t^{-1}$)
—	2.144～2.18	$\frac{0.00389}{0.00375}$(24°C)～$\frac{0.00385}{0.00375}$(38°C)
2.34	2.157～2.166	0.0039 (24°C)～$\frac{0.0038}{0.0037}$ (40°C)

但し（ ）內溫度は測定時に於ける中心溫度の概略値を示す

w/c＝0.4　セメントペーストの場合の結果も全く同樣なれば實驗結果により得し溫度擴散率～中心溫度圖及び主要なる結果を第 22 圖 (a)，(b) 及び第 13 表に示す．



第 22 圖　w/c＝0.4　セメントペースト溫度擴散率と中心溫度關係（高溫恒溫槽約40°C）

第13表　w/c＝0.4　セメントペースト試驗成績

眞比重	見掛比重	溫度擴散率 ($cm^2 \cdot t^{-1}$)
—	1.969～2.01	$\frac{0.0036}{0.0034}$ (23°C)～$\frac{0.00345}{0.00340}$(36°C)
2.21	1.960～1.975 實驗前後	$\frac{0.00360}{0.00345}$(23°C)～$\frac{0.00340}{0.00335}$(36°C)

但シ（ ）內溫度は測定時に於ける中心溫度の概略値を示す

VI. コンクリートの比熱(熱容量)空隙率竝に熱傳導度に就て

［1］序　說

上記各章に述べし如くコンクリート，モルタル，セメントペーストの實驗結果を見るに溫度擴散率は全く類似せる傾向を示すと同時に各々互に密接なる關係の存在する事が分る．同一量の w/c 比に對しては溫度擴散率は

（1）コンクリート，モルタル，セメントペーストの順位に減少し且つ其の差異は可成り著しい．

（2）材齡に依る變化は全部同一傾向にて總てセメントペーストの特性に依り支配されてゐると推測し得．

（3）溫度に對する變化の割合はセメントペーストが最小にてコンクリートが最大である．溫度に對する變化には骨材の影響が最も大である．

各試料の溫度擴散率の値は其の都度記載せるを以て今省略するもコンクリート等に於ては空隙率に支配される事が大であると同時に骨材の各成分の値によるものである．斯かる見地に依る k^2 値の考察は後章に記述するも各骨材等の k^2 値を知り且つ試料の空隙率を明かにし置く必要がある．第5節に其の測定値を述べん．

コンクリート，モルタル等の熱傳導度を求めん爲め各試料の熱容量の値を知る必要がある．本章は主に空隙率，熱容量等熱的性質の論究に必要な諸性質の實驗結果を述べん．

［2］各試料の眞比重，見掛比重及び空隙率

第 II～V 章に述べた溫度擴散率の實驗結果を見るに水中養生期中に於ても成形後 10 日前後を經過せるものは，浸水狀態に於ても材齡と共に溫度擴散率は減じ，過渡法に依るも時間的影響が實驗誤差範圍以下にて僅少である．元來コンクリート等は硬化に必要以上の水の使用及び其の他セメント粒子の膠質化學的特性に依り 5～10% 前後の空隙率を有す．從つて吸水程度は或材齡以上に於て空隙率を基準とし推測し得るものである．嚴密に考察すれば空隙總計のみならず個々の値をも考慮に入れる必要あるも今の場合は總計のみの影

響として取扱ふ．一應空隙率を定める必要あるも硬化作用の停止期等を明瞭に測定せざりしを以て空隙部の形狀の變化進行狀況に假定をする．卽ち空隙部の形狀は空氣養生中に於ける溫度擴散率の實驗を終りし時と同じものにて唯滲透水と見做し得べき自由水の含有量が個々の場合異るものとす．强度の實驗には著しく，溫度擴散率の實驗に於ては極めて僅か乍ら材齡の變化を明かに看取し得るも今本報告に於ては溫度擴散率に對しては第2次的影響として論ず．斯かる見地より各試料の眞比重をも測定す．比重測定用試料は溫度擴散率實驗後50噸試驗機にて破壞し約20粍位の圓壔高に相當する部分を更に分割し，其の一部分を手働式クラッシャーにて粉碎し第14表に示す如き粒度のものとしルシヤテリー比重瓶に依り眞比重を求む，更に見掛比重を求める必要がある．第9表～第13表に掲げし見掛比重は吸水狀態のものにて空隙率算定には稍〻不適當である．其れ故一般に碎石等の見掛比重測定法に從ひ第14表の細粉を作る以前の粗粒に粉碎せしものを使用す．第15表は同試驗に使用せし試料の粒度表にて最初空氣燥にて重量の變化無きに至るまで乾燥せるものを空氣中にて秤量す（W_1）．更に96時間蒸溜水中に浸漬したる後空氣中及び水中にて

第 14 表

種類 / 篩(mm)	コンクリート 1, 3, 7; 0.8 (材齡)	コンクリート 1, 1.5, 3; 0.4 (材齡)	モルタル 1, 3; 0.8 (材齡)	モルタル 1, 1.5; 0.4 (材齡)	セメントペースト 0.4 (材齡)	セメントペースト 0.3 (材齡)
通過 止	%	%	%	%	%	%
2.38～2.00	10.3	11.5	10.2	11.4	16.6	20.5
2.00～0.85	37.3	41.4	43.9	56.4	59.5	59.1
0.85～0.59	11.5	11.8	15.5	12.0	10.1	9.0
0.59～0.36	11.6	10.8	16.7	11.1	7.9	6.4
0.36～	29.3	24.5	13.7	9.1	5.9	5.0
使用總量	650.8 gr	579.4	136.1	154.4	114.4	138.1
眞比重	2.60	2.50	2.55	2.42	2.21	2.34

第 15 表

種類 / 篩(mm)	コンクリート 1, 3, 7; 0.8		コンクリート 1, 1.5, 3; 0.4		モルタル 1, 3; 0.8		モルタル 1, 1.5; 0.4		セメントペースト 0.3		セメントペースト 0.4	
	重量	百分率	重量	百分率	重量	百分率	重量	百分率	重量	百分率	重量	百分率
通過 止	瓦											
38.10～31.75	175.40	18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31.75～25.40	457.63	47.0	716.80	74.5	0	0	45.12	4.9	0	0	0	0
25.40～19.05	243.17	24.9	187.30	19.5	269.94	28.9	175.01	19.0	28.00	3.1	19.72	2.3
19.05～12.70	58.34	6.0	51.73	5.4	535.54	57.5	527.42	57.2	341.85	37.7	87.87	10.1
12.70～ 6.35	33.12	3.4	3.60	0.4	125.23	13.4	163.80	17.8	457.85	50.5	428.65	49.1
6.35～ 4.76	4.16	0.4	1.12	0.1	0	0	9.68	1.0	77.45	8.5	334.80	38.4
4.76 通過	2.63	0.3	1.67	0.1	1.48	0.2	0.98	0.1	2.00	0.2	1.52	0.1

秤量す（W_2, W_3）．W_1/W_2-W_3 により見掛比重を求む，第 16 表は其の試驗結果を示す．第 14 表と比較するに可成り比重の値小にて相當量の空隙の存在せる事を示す．

第　16　表

種　　類	試料粉碎後ノ重量	乾燥セル試料重量（W_1）	96時間浸水後水中重量（W_3）	96時間浸水後空中重量（W_2）	見掛比重（W_1/W_2-W_3）
コンクリート 1,3,7; 0.8	994.60	971.67	596.66	1007.13	2.36
〃　1, 1.5, 3; 0.4	994.00	957.59	591.14	1005.13	2.31
モルタル　1, 1.5; 0.4	990.20	913.90	556.73	1007.06	2.02
〃　1, 3; 0.8	993.54	921.95	555.71	1031.23	1.94
セメントペースト 0.4	992.57	865.91	515.21	1027.56	1.69
セメントペースト 0.3	991.27	898.30	544.19	1010.06	1.93

眞比重（ρ_t）見掛比重（ρ_a）より空隙率（V_a）を (5) 式に依り求める．

$$V_a=\frac{\rho_t-\rho_a}{\rho_t} \quad \cdots\cdots(5)$$

第 17 表は斯くして求めた空隙率である．

第 17 表　空　隙　率　表

種　　類	ρ_t	ρ_a	V_a	V_a''
コンクリート 1:3:7:w/c=0.8	2.60	2.36	0.092	0.092
コンクリート 1:1.5:3:w/c=0.4	2.50	2.31	0.076	0.042
モルタル 1:3: w/c=0.8	2.55	1.94	0 244	0.196
モルタル 1:1.5:w/c=0.4	2.42	2.02	0.165	0.095
セメントペースト w/c=0.3	2.34	1.93	0.175	0.079
セメントペースト w/c=0.4	2.21	1.69	0.235	0.113

第 17 表中 V_a'' は ρ_a として溫度擴散率實驗直後に於て特に加熱乾燥を行はざる以前の見掛比重より求めたもので，V_a-V_a'' より當時の含水狀態を推測し得る．モルタル，セメントペースト試料は 10～20% 前後の可成り大なる空隙率を有す．此の外コンクリートに於て計算的に簡單な假定により空隙率を求め使用されることがある，卽ち最初型入の際に空氣の混入する事に依る空隙と水分が空隙に轉化するとの假定による．斯かる意味の全空隙 V' 及び空氣空隙 V_a を第 18 表に示す，但し V' は充填された當初に於ける水分と空氣との占める容積和の割合，V_a は同上空氣に對するものを示す．

第 18 表 空隙計算表 (V', V'_a)

種類	V_a	V'
コンクリート 1：3：7：w/c=0.8	−0.001	0.156
コンクリート 1：1.5：3：w/c=0.4	0.002	0.165
モルタル 1：3：w/c=0.8	−0.002	0.361
モルタル 1：1.5：w/c=0.4	0.021	0.336
セメントペースト w/c=0.3	0.067	0.520
セメントペースト w/c=0.4	資料不確實	

V_a は誤差範圍内に於て殆ど零である．卽ち充塡は可成り注意深く過當に行れし事を示す．V' の値は空隙率としては水硬作用等を度外視せるもので第 17 表の V_a と比較するに第 18 表の V' は 1 つの別個の指示をなすも，物理的意義は簡單には附し得ない．次に各試料の比熱を求む．

［3］ 各試料の比熱及び熱容量

一樣な物質の溫度擴散率は旣に第 II 章に述べし如く熱傳導率 (λ)，比熱 (c)，密度 (ρ) 等に依るものであるがコンクリートの如く空隙を有し，且つ相當量の自由水を含有せる場合熱傳導度を始め比熱等も嚴密には可成り複雜なものとなるも玆に新比重を測定せし資料に就き卽ち第 14 表の試料にて混合法に依り比熱を測定した．第 19 表に其の結果を示す．比熱測定には試料とし各々 60～70 瓦程度を使用す．

第 19 表

種類	試驗溫度範圍	比熱
コンクリート 1：3：7：w/c=0.8	27.2°C～94.6°C	0.204
コンクリート 1：1.5：3：w/c=0.4	27.08°C～91.7°C	0.226
モルタル 1：3：w/c=0.8	26.74°C～91.7°C	0.226
モルタル 1：1.5：w/c=0.4	26.88°C～91.2°C	0.238
セメントペースト w/c=0.3	26.28°C～93.6°C	0.282
セメントペースト w/c=0.4	26.7°C～91.6°C	0.292

本實驗の各期に於ける如く吸水狀態の場合には見掛上單に水の影響を代數的に加算して置く．溫度擴散率 k^2 より熱傳導度 (λ) を換算するに $k^2(c\rho)=\lambda$ に依るとすれば單位容積の熱容量 $[c\rho]$ を明かにし置くを要す．今下式により熱容量を與へ得るとし實驗結果より計算す．

$$(1-V_a)\rho_t c+V_a\rho=[c\rho]$$

但し V_a は第 17 表に示す空隙率，ρ_t は眞比量，c は第 19 表に示す試料比熱とす．ρ は空隙內を占むる水分の割合とす．今本試料の水養生期最後の時及び空氣養生期最後の時に

於ける熱容量の値の概略値を求め第20表に示す．計算に使用した p に關しては特に說明を加へざるも同表に依り明かである．

第 20 表　熱　容　量 $[c\rho]$

種　類	$[c\rho]$ III $(I-V_a)\rho_i C$	$V_a p$（水中養生期）I 見掛比重の差	$V_a p$（空氣中養生期）II 見掛比重の差	$[c\rho]$ I	$[c\rho]$ II
コンクリート 1：3：7：w/c=0.8	0.918×2.60×0.204 **0.487**	2.41−2.36 **0.05**	2.39−2.36 **0.03**	0.537	0.517
コンクリート 1：1.5：3：w/c=0.4	0.924×2.50×0.226 **0.523**	2.42−2.31 **0.11**	2.405−2.31 **0.095**	0.633	0.618
モルタル 1：3：w/c=0.8	0.756×2.55×0.226 **0.433**	2.14−1.94 **0.20**	2.08−1.94 **0.14**	0.633	0.573
モルタル 1：1.5：w/c=0.4	0.835×2.42×0.238 **0.481**	2.24−2.02 **0.22**	2.21−2.02 **0.19**	0.701	0.671
セメントペースト w/c=0.3	0.825×2.34×0.282 **0.59**	2.18−1.93 **0.25**	2.16−1.93 **0.23**	0.84	0.82
セメントペースト w/c=0.4	0.765×2.21×0.292 **0.49**	2.01−1.69 **0.32**	1.97−1.69 **0.28**	0.81	0.77

第 20 表に明かなる如く熱容量 $[c\rho]$ は見掛比重の差異により著しく異る事を知る．

［4］ 各試料熱傳導度 (λ)

第 20 表の單位容積の熱容量 $[c\rho]$ の値として水中養生終了期の場合，空氣養生最終實驗期の場合及び絕對乾燥期に於けるものを夫々 $[c\rho]_I$，$[c\rho]_{II}$，$[c\rho]_{III}$ とすれば各熱容量値に對し其の材齡に對する熱傳導度を溫度擴散率より ……$k^2[c\rho]=\lambda$…… により計算す．第 21 表は之を示す．但し絕對乾燥狀態に於て特に實驗せず，溫度擴散率の材齡による影響の僅少なる事より II 期に於けるものと同じ値を有するものとした材齡と共に，材質竝に吸水狀態にも變化を來たすと考へらるゝを以て實驗的に將來確める必要がある．I 期のものとしては第 11，13，15，19，20 圖等より判斷し最大値に至りしものを採る．コンクリートに於ては溫度の影響大なれば第 III，IV 章實驗結果の中心溫度 35°C を標準として其の時の溫度擴散率を用ふ．

第 21 表により明かなる如く同一試驗にても含水程度により熱容量 $[c\rho]$ は可成り著しく異るもので，充分乾燥せる第 III 期のものと水中養生期の終局に近き第 I 期のものとを比較するに，大略 2：1 の割合にて第 I 期の場合が大である．從つて熱傳導度 (λ) の値にも同程度の差異がある．本實驗の試料の數量僅少にて一般的にコンクリート等の熱傳導度に影響を及ぼす主要なる因子を明確に明かにする事は困難である．其の詳細な理論的

第21表 熱傳導度 (λ)

種類	溫度擴散率 ($cm^2 \cdot t^{-1}$)			熱容量 $[c\rho]$ (cal/cm³)			熱傳導度 (λ) cal·cm·$^{-1}$sec·$^{-1}$°C^{-1}		
	I 期	*II* 期	*III* 期	$[c\rho]_I$	$[c\rho]_{II}$	$[c\rho]_{III}$	λ_I	λ_{II}	λ_{III}
コンクリート 1：3.：7：w/c=0.8	0.00995	0.00980	0.00980	0.537	0.517	0.487	0.00534	0.00507	0.00477
コンクリート 1：1.5：3：w/c=0.4	0.00935	0.00900	0.00900	0.534	0.533	0.523	0.00592	0.00556	0.00472
モルタル 1：3：w/c=0.8	0.00630	0.00620	0.00620	0.633	0.573	0.433	0.00399	0.00356	0.00269
モルタル 1：1.5：w/c=0.4	0.00630	0.00620	0.00620	0.701	0.671	0.481	0.00442	0.00417	0.00298
セメントペースト w/c=0.3	0.00380	0.00380	0.00380	0.84	0.82	0.59	0.00319	0.00312	0.00224
セメントペースト w/c=0.4	0.00350	0.00345	0.00345	0.81	0.77	0.49	0.00284	0.00270	0.00172

考察は次の機會に讓るが充分乾燥（自由水含有僅少なる狀態）せる場合斯かる空隙を有する物質の熱傳導度は著しく空隙率に支配される事と推察さる．殊に骨材，セメント水硬物の平均比熱，熱傳導度が同じ程度なる場合に於ては主として空隙率のみによるとするも誤なし．然るに骨材の熱傳導度がセメントペーストのものに比し著しく大なる時は當然空隙率の影響以外に骨材の相違による差異が現れて來る．卽ち骨材自體の周密性の度合により著しく異る．其れ故骨材の熱的特性を明かにしをく必要がある．次節に，二三試驗體コンクリート用に使用せし骨材の實驗結果を述べる．

［5］ 使用骨材の熱的特性

砂利は第2表に示せるものにて鬼怒川產のものである．室內自然乾燥及び 110°C 5 時間乾燥せるものの二種に就き第 II 章の方法により溫度擴散率 (k^2) を實測す．條件は第 22 表の如し．

第22表 砂利試驗成績

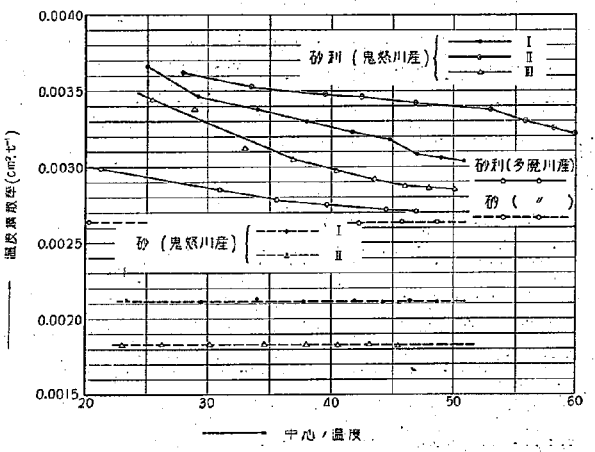
種類	恒溫槽溫度(°C)	初溫度(°C)	眞比重	含水率(重量%)	空隙率 %
I	60.5	22.16	2.58	0.468	36.6
II	70.41	24.79	2.58	0.558	34.8
III	60.44	23.11	2.58	0.00	37.1

溫度擴散率 (k^2) と試料中心溫度との關係は第 23 圖に示す．第 II, III 章コンクリートの實驗結果に於ける如く可成り溫度上昇に伴ひ減少してゐる．

乾燥せるものは同圖の如く溫度擴散率は最も少い．參考の爲め多摩川產の砂利，砂の溫度傳度率値を記入す．多摩川產のものは砂利，砂共に溫度傳導度の値相接近し且つ鬼怒川

産のものに比し砂利の溫度傳導度が小である．眞比重空隙率は砂利，砂で夫々，2.67, 2.69; 40%, 38% で實驗を行つた．空隙率は粒子間の空所と粒子內の固體中の空所を含有せるもので兩者を區別し取扱ふべきであるが本報告では總て兩者を加算せるものを意味す．

砂も鬼怒川産のものにて第3表の如き品質のものである室內自然乾燥（I）と 110°C にて5時間乾燥せるもの（II）に就き砂利の場合と全く同樣に實驗し條件は第 23 表に示す．結果として試料の中心溫度と溫度擴散率との關係を求む．第 23 圖に點線を用ひて砂利の



第 23 圖　鬼怒川産及び多摩川産砂利，砂の溫度擴散率～中心溫度との關係

場合と共に示す砂の場合は實驗の溫度範圍に於て砂利に比して頗る著しい特長を示してゐる．卽ち室內乾燥のものも加熱乾燥せる場合も共に中心溫度に對し全く無關係で一定の溫度擴散率を有す．第 III, IV 章モルタルの實驗の場合は可成り吸水せる狀態なれどもコンクリートの場合に比し溫度擴散率の溫度に依る影響が少かつた事は全く砂と砂利の上述せる熱的特性の相違に依るものである．

第 23 表　砂 試 驗 成 績

種　類	恒溫槽溫度 °C	眞　比　重	含水率（重量%）	空　隙　率 %
I	60.44	2.66	0.866	41.5
I	60.44	2.66	0.00	41.7

旣に各章に於て溫度擴散率等を比較する場合溫度により異るものは 35°C を標準とした砂利の場合を第 23 圖より求め第 24 表に示す．

第 24 表 砂利，砂の溫度擴散率 k^2，中心溫度概略値 35°C

	砂利			砂	
	I	*II*	*III*	*I*	*II*
溫度擴散率 k^2 $(cm^2 \cdot t^{-1})$	0.00352	0.00338	0.00313	0.00214	0.00184

次に各試料の比熱より單位容積の熱容量 [$c\rho$] を求める事を要す．比熱實驗値は測定し得るも簡單に本砂利，砂等を混和材とせるコンクリート等の比熱値より計算で求む．

第 19 表より w/c=0.4 に對する 1 : 1.5 : 3，1 : 1.5 のコンクリート，モルタル及びセメントペーストの比熱を求め計算の資料とす．今二三の成分よりなる混和物の比熱は各成分のものの代數和に依るものとし，不明のものの値を推測し得る砂利，砂に對し夫々砂利；0.185　砂；0.202 を得．空隙率を考慮に入れ單位容積當りの熱容量を得，乾燥せる砂利，砂に就き夫々

$$2.58\times 0.185(1-v)=0.311;\quad 2.66\times 0.202(1-v)=0.314$$

を得．第 24 表の砂利 III 期砂 II 期の溫度擴散率より熱傳導率の値として夫々 $\lambda=0.00098$ (*C.G.S*)，0.00058 (*C.G.S*) を得．總て中心溫度概略値は 35°C に相當するものとす．此の實驗に使用せし砂利，砂は特に流水等にて洗滌し其の表面に附着せる風化物質を取除かず單に篩口に塵埃を取除いた程度のものである砂利，砂の熱傳導度 (λ) はセメントペーストの値と空隙率の關係を考慮に入れれば全く同じ程度のものなることが分る．空隙率の總量のみならず各空隙の個々の絶對値も可成り著しい影響を持つものと考へらる．其の上砂利等に於ては表面の狀態も熱的特性に著しき影響を有するものと考へられる．此の問題に關しては今資料僅少にして結論的の事を述べる事は不可能である．殊に空氣固體系の熱的特性に對し本節に使用せし數式は再吟味を要する問題で今後の研究に依る事とする本報告は實驗結果の記述に止む．

VII. 溫度傳導率試驗後にかけるコンクリートの强度試驗

第 III，IV，V 章に施行せし溫度擴散率實驗中には可成り大なる熱應力を發生するもので既に w/c=0.3 のセメントペーストの場合高溫度恒溫水槽溫度 70°C とせしに 3 回目の實驗にて全く破壞せし事を述べた．其の他のものにても實驗毎に繰返し受ける熱應力にて微細な龜裂の發生せる事が認められる．斯く供試體は力學的に可成り劣化せるもので强度も著しく低下してゐる．表面に認められる龜裂は主に軸に沿ふて上下面に至るもの又は軸線に垂直のものと二種である．藤井技師の研究に依るに此種鋪裝用コンクリート等の强度は材齡 28 日後は略一定に達し第 25 表の如き値を示してゐる．

第 25 表　鋪裝用コンクリート強度

種類 / 性質	C_I 1:3:7:w/c=0.8 コンクリート	M_I 1:3:w/c=0.8 モルタル	C_{II} 1:1.5:3:w/c=0.4 コンクリート	M_{II} 1:1.5:w/c=0.4 モルタル
壓縮強度 kg/cm²	83.61; 90.07 (28日) (42日)	196.13 (28日)	312.80; 325.60 (28日) (42日)	650.3; 682.3 (28日) (42日)
引張強度 kg/cm²	8.74; 8.35 (28日) (42日)	27.50 (28日)	22.60; 23.50 (28日) (42日)	40.17; 42.95 (28日) (42日)
引張に對する彈性係數 kg/cm²(28日)	170,000～120,000 (4～9.5 kg/cm²)……應力範圍		260,000～290,00 (60～220 kg/cm²)……應力範圍	

且つ壓縮應力と變形率との關係は材齡 21 日以下の場合全く最初より塑性を表し應力に對し變形率が直線的關係以上に大である．40 日前後のものも最初彈性的であるがコンクリート特有の塑性を示してゐる．然るに温度擴散率試驗後のものを供試體とし通常行はるゝ如き壓縮强度試驗を行ふ變形はマルテンス，ミラーエキステンソメーターを用ひずアームスラー 50 噸試驗機の自記裝置に依つた．標點距離は供試體の高さにて應力～變形曲線は量的に不確實なれば特に掲げざるも藤井技師の報告にあるものと全く傾向を異にし最初變形大にて見掛上彈性率小なるも直ちに直線的になる．且つ應力～變形曲線は圓滑な直線に非らずして小さき脈動が表れてゐる．熱應力により內部に毛狀龜裂の發生せる爲めと推測す．

第　26　表

種類	實驗せる恒温槽の温度	熱應力的龜裂	破壞荷重 (kg)	强度 (kg/cm⁻²)	材齡	龜裂	全容積	備考
C_I 1;3;7 w/c=0.8	水中養生中 70°C 室內乾燥中 60°C	コンクリートは共に圓壔の軸に平行但微少	13,450 兩面平行ならざる爲め小	76	7.27 (65日)		7890 c.c h=44.7cm	
C_{II} 1;1½;3 w/c=0.41	同上		43,000	244	7.28 (65日)	同上	7997 c.c h=45.3 cm	
M_I 1;3 w/c=0.8	〃	コンクリートの場合と同樣	28,850	164	7.28 (64日)		7714 c.c h=43.7 cm	
M_{II} 1;1½ w/c=0.4	〃		82,5000	467	7.29 (65日)	同上	7935 c.c h= 44.95 cm	强度試驗前軸に直角に龜裂を生ず
N_{II} w/c=0.4	45°C	空氣乾燥中軸方向に龜裂を生ず	30,000	170	7.28 (63日)		8225 c.c h=46.6 cm	强度試驗前軸に直角に龜裂を生ず
N_I w/c=0.3	同上	な　し	74,000	420	7.29 (64日)		8262 c.c h=46.8 cm	（）は試驗月日を示す

應力變形曲線は總體として直線形を保ち或極限値に至り急激に破壞するもので一般コンクリートの如き所謂靱性を示さない强度として壓縮試驗に於ては可成り大なる値を示し，第 25 表の强度と比適する程度である．斯かる供試體は必ず抗撓試驗を同時に行ふ必要がある事を痛感す．第 26 表に實驗結果を示す．斯くの如く羽毛狀龜裂の發生せるものも本試料の場合の如く軸の方向に沿ふか又は軸に直角なるものにては壓縮强度には著しき影響が現れない．この事は特別な龜裂形狀と載荷方向に依るもので材料としては强度著しく減少せるものと解すべきである．

VIII. 熱的諸性質竝に空隙率含水率相互の關係に就て

[1] 序 說

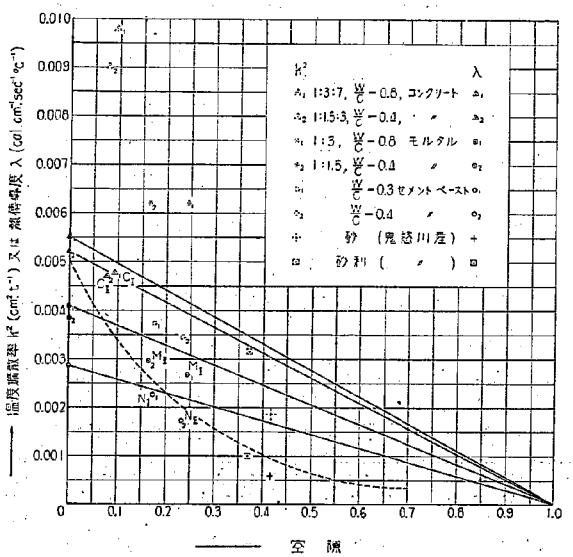
第 III, IV, V 章の實驗により鋪裝コンクリート及び類似配合のモルタル，セメントペースト等に就き溫度擴散率 (k^2) を水中養生，空氣養生期に於て可成りの材齡範圍に亘り實測した．一方第 VI 章 [3] 節に於て單位容積當りの熱容量を二三の材齡期に於て求め溫度擴散率と組合せ熱傳導率を明かにした．更に使用せし骨材 (砂利，砂) に就ても全く同樣の實驗を行ひ溫度擴散率及び熱傳導度等を求めた．實驗は恒溫水槽に依る過渡法により試料溫度範圍は 20°C～70°C に及び試料內には時間的に見て連續せる溫度傾度の存在せる狀態である．殊にコンクリート，モルタル，砂利，砂等に於ても含水せる狀態にて實驗を試みしも實測に要せし時間約 60 分前後なりし爲か，空隙の形狀が自由水の溫度傾度に依る移動を防止し得る如く配置せる爲めか，可成り確實な一定せる結果を示し，其の結果の詳細は既に述べた．要約に於て其の傾向を記述するも今本章に於てはコンクリートの熱的特性を主題として如何なる因子により影響されるかを考察す．研究の對照としては先づセメントペースト系に就き其の理論を明かにし第一の不均一系なるモルタルに及ぼし第二不均一系コンクリートに及ぶべきである．殊に水硬作用中の材質の變化空隙率（空隙單位容積中の總和竝に各個々の大さ分布）竝に含水量の關係を明かにするには必ず斯かる順位による事を要す．本報告は豫報とし斯かる見地より見たる一般論は述べず，主として實驗結果より判斷し其の傾向を示すに止めん．

[2] 溫度擴散率竝に熱傳導度と骨材組成及び空隙率との關係

溫度擴散率は實驗範圍に於て溫度に無關係なりしは砂及びセメントペーストにて他の場合は可成り溫度に依り著しい變化を示した．コンクリート，砂利は同じ程度に溫度上昇に伴ひ溫度擴散率 (k^2) が減少した．以下既に述べし如く 35°C を基準とする．材齡に依る變化も僅少なれば空氣養生期の稍〻一定値になりしものを使用し考察せん．含水狀態により熱容量は可成り著しき影響を蒙るものにて第 21 表 $[c\rho]_I$, $[c\rho]_{II}$, $[c\rho]_{III}$ の値を見るも明

かであると同樣の事が砂利，砂の場合第 24 表に就て言ひ得る．從つて熱傳導度として計算し得るものは著しく異るものである．卽ち熱傳導度の含水量に依り著しく異るものでコンクリート，モルタル等に對しては第 21 表に λ_I, λ_{II}, λ_{III} として掲げた含水量を先ず度外視し充分乾燥せるものに就き二三熱的性質を考察す．

先づ第 17 表空隙率 (V_a)，第 21 表　溫度擴散率コンクリート，モルタル，セメントペースト等の第 III 期，熱傳導度 (λ_{III}) と空隙率 (V_a) との關係竝に第 24 表砂利，砂の各實測値と空隙率の關係等を考察す．第 24 圖は此等の關係を圖示せるものである．



第 24 圖　鋪裝コンクリート，モルタル等の溫度擴散率，熱傳導度と空隙關係

各記號は同圖に說明せるも △$_1$, △$_2$, ⊙, ⊙, ○$_1$, ○$_2$, ⊡, ＋, 等はコンクリート，モルタル，セメントペースト，砂利，砂の溫度擴散率～V_a の關係を示す △$_1$, △$_2$, ⊙$_1$, ⊙$_2$, ●$_1$, ●$_2$, ⊡, ＋, 等はコンクリート，モルタル，セメントペースト，砂利，砂の熱傳導度～V_a の關係を示す．同圖內の－－－－曲線は $\lambda=0.005/0.5^{V_a}$ ..... 曲線を示すもので濱田博士の研究による關係である．實驗結果を示す點群を見るにコンクリート，モルタルは比較的 λ の値大にてセメントペーストの場合は稍〻一致してゐる．第 24 圖に示す實驗結果を與へる試料は假りにセメントペーストの場合を考ふれば一樣な水硬物內に無數の微細な空隙の分

散せるものである．且つ個々の空隙の形は球形である．若しセメントペーストの組織が w/c 比により空隙率のみに影響を及ぼすとすれば熱傳導率は空隙率のみに支配される．斯かる見地に立つ時は空隙率と熱傳導度の關係を推定し得，一般論的の事は更に機會を得て述べる事とするも瀝青乳劑の電氣傳導の研究の[6]際に引用せし Maxwell[7], Lord Rayleigh[8]

$$\frac{\frac{\lambda}{\lambda_2}-1}{\frac{\lambda}{\lambda_2}+2}=\varphi\frac{\frac{\lambda_1}{\lambda_2}-1}{\frac{\lambda_1}{\lambda_2}+2}$$

（但し λ; 試料の熱傳導度，λ_1: 分散質比熱傳導度，φ: 分散質容積比，
λ_2:分散媒比熱傳導度）

の式も其の一である．今の場合分散質は空氣にて $\lambda_1/\lambda_2 \fallingdotseq 0$; $\varphi = V_a$ を示す，然るにセメントペーストは w/c 比の異る時材質常に同一と見做す事は困難である．第 19 表比較表の中 w/c =0.3; 0.4 セメントペーストの値を見るも同一でなく可成り異つてゐる．斯かる有樣なれば O_1, O_2 の實測點を物理的意義を有す同一曲線で結ぶ事は困難である．假りに略〻平均値を採り上式に適用すれば $\lambda_2 \fallingdotseq 0.0029$ (C.G.S.) を得，モルタルに於てはセメントペーストよりコンクリートは更にモルタルより熱傳導度の大となる傾向がある．今モルタルの場合砂～セメント水硬物よりなる 1 つの一樣な材質を考へ空隙が更に一樣に分散せるものとす．$\odot_1$, $\odot_2$ に上式を適用し，全く同樣の事をコンクリート $\triangle_1$, $\triangle_2$ に施し空隙率 $V_a=0$ に相當する場合の熱傳導率 $\triangle_1$, $\triangle_2$, $\odot_1$, $\odot_2$ 等を求む．今其の値を第 27 表に順序列擧す．

第 27 表　鋪裝コンクリート等の熱傳導度極限値

種類 / 熱傳導度	1 : 3 : 7 w/c=0.8	1 : 1.5 :3 w/c=0.4	1 : 3 w/c=0.8	1 : 1.5 w/c=0.4	セメントペースト w/c=0.3; w/c=0.4
λ_L	0.0055	0.00525	0.0041	0.00385	0.00285

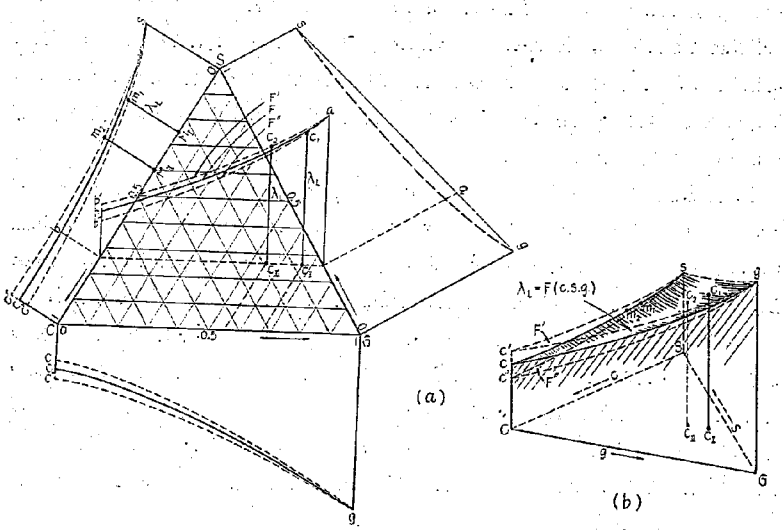
セメントペーストの比重は w/c 比に依り異るも假りに 2.2 を取り砂，砂利に對し夫〻2.66,2.58を取り試料配合を容積比に換算し得るも重量の割合を使用する方が實用上便宜がある．且つ比重も著しく異らざれば大體容積の割合を示すものと解するも傾向を論ずる程度に於ては差支へない．コンクリート類に於て空隙は主としてセメント水硬成生物內部及び骨材との接觸面に存在すると假定すれば第 27 表の熱傳導度極限値を考察する場合には空隙率等の狀態を推測する必要がある．今斯かる空隙に關する修正値を考慮に入れコンクリート等の配合の影響を求む．卽ちコンクリートに於ては砂利，砂は最初の混合割合が存在せるものとし，第17表の眞比重 ρ_t を用ひ上述せし混和物の比重を用ひ各試料の假定せる

極限に於けるセメント水硬物，砂，砂利の組成を求め得るも先づ簡單に考へ w/c 比の影響は既に述べし如く取扱ひ混合材配合より重量割合を第 28 表の如く求む．

第 28 表　コンクリート等の混和材重量割合

種　類	セメント (C)	砂 (S)	砂　利 (G)
1：3：7 コンクリート	0.091	0.273	0.686
1：1.5：3 コンクリート	0.183	0.272	0.545
1：3　モルタル	0.25	0.75	—
1：1.5　モルタル	0.40	0.60	—

今第 25 圖の如き三角座標を用ひ (C) セメント硬化物，砂利 (G)，砂 (S) の重量割合を各邊にて示し，三角座標内の一點にて與へられるコンクリートの極限熱傳導度 λ_L を同平面に立てた垂直線上にとる．斯くして 1 つの熱傳導度 λ_L を與ふ曲面を得．今第 24 圖に與へられた各點 C_I, C_{II}……N_I, N_{II} を第 25 圖に示す．モルタルの場合は三角座標の一側面即ち CS 頂點を含む平面と曲面との交る曲線 c～s として與へられる．同樣にコンクリートの場合は C_I, C_{II} に立てたる垂直線の交り c_1, c_2 點として與へられる s～g 曲線は砂，砂利不均一系の且つ空隙率零の場合を推測せるもので實際上存在せざるもので點線で示した．



第 25 圖　三角座標にて示せるコンクリート熱傳導度と骨材等の關係

骨材の性質により上記 $c\sim s\sim g\sim c$ 曲面は可成り平面に近づく事もあり得るが一般的には必ず第 25 圖の如き關係が成立つ筈である．然るに $\lambda_L=F(c,s,g)$ 曲面で表される F 面は w/c 比により F', F'' 範圍に變化す．之を考慮に入れつゝコンクリート等に於てセメント水硬物の w/c による影響を考察せんに c 座標頂點の $C\sim c$ の長さが w/c 比により變化し $c'\sim c''$ の範圍に移動す w/c 比小なる方 c' に對應すると推測するものにて，コンクリート，モルタルの場合も w/c 比に應じ λ_L 曲面として F', F'' と取るべきである．本實驗の資料のみにては不充分なれば更に今後の研究に依る事とする．

元來 Maxwell, Lord Rayleigh 等による上式は不均一系内に於て組成を通じ温度傾度の明瞭に定義し得る場合に適應されるもので空隙の如き氣體の空間にては其の個々の大さに拘らず其の假定に順ふやは疑問である．殊に砂利等の實驗の場合の如く各粒子と同じ程度の空間が分布せる場合實驗的に確める必要がある．第 VI 章［5］節の實驗結果より得たる砂利，砂の熱傳導度は見掛上小さ過ぎコンクリートの場合の砂利，砂の影響を說明するに適さざるも第 23 圖に記入して置く．一方アスファルト混和物の實驗等に於て之を確め報告する機會がある．

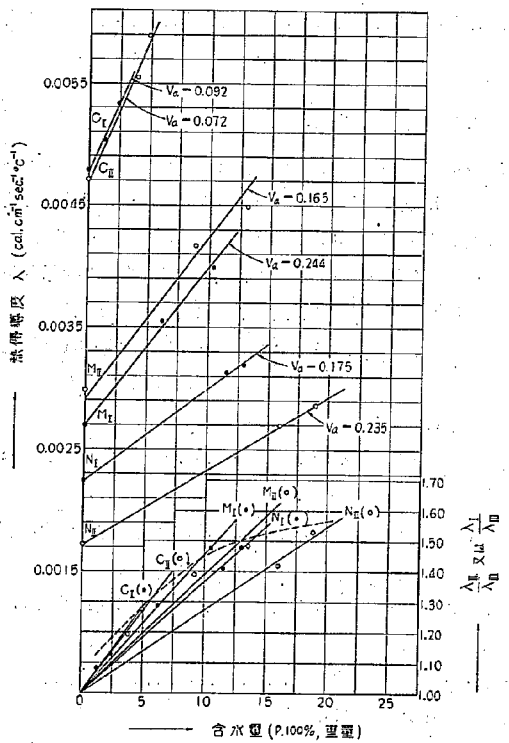
［3］ 熱傳導度と含水量との關係

不均一系の各種熱的特性の中比熱を各組成の代數和に依るものとすれば熱傳導度の組成による影響を明かにし得ば温度擴散率は求め得．［2］節に空隙とコンクリート，モルタルの極限熱傳導度 λ_L との關係更に λ_L と骨材組成並に w/c 比の影響等に關し二三重要な考察を行つた．本節は空隙に水分が吸着，含水される場合如何なる影響を示すや第 III, IV, V 章の實驗的資料より考察せん．水及び海水の熱傳導度は可成り大なるもので抜山博士等の研究により下記の如く與へられてゐる．

水の熱傳導度 (0°～90°C) $\lambda=0.001358(1+0.0020\,t)$ cal/cm.sec. °C, 海水の熱傳導度 (10°～70°C) $\lambda=0.001319\,(1+0.00224\,t)$ cal/cm. sec. °C である．空氣の値 $\lambda=0.000055$ (比熱 0.237, $\rho=0.00129$) に比し著しく大にて既に述べたセメントペーストの熱傳導等の 50% 程度である．從つて熱對流及び其の他純粹な熱傳導的效果以外のものを除くも吸水含水によりコンクリート，モルタル等の熱傳導度は著しく增加す．砂の如き鑛物粒體の場合水分の影響に對する各種理論及び實驗上の研究によるに或空隙のものに對し含水量と熱傳導度の關係は主として空隙の形狀により說明が試みられてゐる．コンクリート，及びモルタルの場合の空隙の形狀は球狀のものが多い．吸水作用により水が滲透し行く時水が如何なる形狀をとり材質部に保持されるかにより熱傳導度に對する影響が著しく變る．實驗結果と相對照し水分の影響を明かにし置かん．

第　29　表

種　　類	ρ_I	ρ_{II}	ρ_a	含水量重量%（$p\times100$）	
				I	II
コンクリート					
1：3：7; C_I	2.415	2.39	2.36	2.12	1.27
1：1.5：3; C_{II}	2.425	2.406	2.31	4.77	3.88
モルタル					
1：3; M_I	2.14	2.06	1.94	10.3	6.2
1：1.5; M_{II}	2.29	2.21	2.02	13.4	8.9
セメントペースト					
w/c=0.3　N_I	2.18	2.16	1.93	12.9	11.4
w/c=0.4　N_{II}	2.015	1.965	1.69	18.9	16.0



第 26 圖　コンクリート，モルタル，セメントペースト熱傳導度と含水量の關係を示す

實驗結果：

含水量の決定には第 16 表見掛比重（ρ_a）及び第 21 表 I 期 II 期卽ち水中養生終了期及び空氣養生終了期に於ける比重 ρ_I ρ_{II} を第 11, 13, 15, 19, 20 圖より求め $\frac{\rho_I-\rho_a}{\rho_a}\times100$, $\frac{\rho_{II}-\rho_a}{\rho_a}\times100$ として第 29 表の如く含水量重量%（$p\times100$）を求む.

熱傳導度は第 21 表の λ_I, λ_{II}, λ_{III} を引用す，以上に得たる含水量 $p\times100$% と熱傳導度の關係を圖示すれば第 26 圖を得，横軸は含水量 $p\times100$ % 縱軸は熱傳導度 λ_I, λ_{II}, λ_{III} を示す．各點の記號は第 29 表種類の欄に記入したものと同じである．第 26 圖には又含水量により熱傳導度の增加割合 $\lambda_{II}/\lambda_{III}$ 又は λ_I/λ_{III} との關係をも示す．個々の場

含原點を通ずる直線の上に分布せるも全體に就き分布を考察するに實驗の材料のみより判斷するに漸近的に增大せる曲線に從つて分布せるかの如く見ゆ．殊に個々の實驗に於てλ_{III}値を求めし狀態は略ゝ水分の飽和せるものと推測せられるを以て同圖內の點線の範圍より熱傳導度は增加しないものと考へられる．骨材の配合等により異るも全體として空隙率の大なるもの程含水量の高率%を示し空隙率小なるものは同圖 C_I C_{II} の如く左方に急傾斜をとり熱傳導度增加範圍も少い．以上の如く實驗的に供試體の平均含水量により熱傳導度は如何に變化するものなるやを明かにした．理論的に考察せんに含有水は如何なる形態をとり斯かる物質內に存在するやを明かにする必要がある．勿論滲透の問題と聯關しコンクリート，セメントペーストの微細組織を明かにせざれば單に低倍率の球形空隙の存在のみよりして說明を試みんとするは困難である．一應滲透の徑路と共に考察する必要がある．本報告は主として實驗結果より設計上の資料を得んとする豫報的のもので理論的考察は後に取纏めて報告せん．

IX. 要　　約

コンクリートの熱的性質は二三研究されしものあるも使用骨材の特性により例へば鬼怒川產多摩川產に依り火成岩的組織又は水成岩的組織を示す場合可成り著しき差異あると推測さる．本報告は主として熱傳導度が骨材及びセメントの w/c 比，コンクリート材齡，空隙率，及び含水量に對し如何に變化するものなるや，其等各量の間に存在する關係を明かにし，一方構造物等の設計資料としての熱傳導度溫度擴散率の値其のものを得んと試みたものである，更に進んでは斯かる見地より觀察する時コンクリート等の內部組織は如何に取扱はるべきものなるや，二，三實驗結果を基準とし考察せんと試みた．本報告に述べし結果の中主要なるものを要約すれば次の如し．

(1) 淺野セメント，鬼怒川產砂利，砂を使用せるコンクリート，モルタル，セメントペーストに關する實驗結果である．

(2) 溫度擴散率測定には恒溫水槽內に急激に潰入せる場合に於ける溫度の過渡傳導を利用し，一方其の原理を明かにす．

(3) 最初材齡約 20 日迄は實驗施行時以外は所定の 18°C の恒溫水槽內に養生貯藏す．爾後實驗施行時以外は室內にて自然乾燥を受く．

(4) 常に試料重量の變化を秤量し見掛比重の變化を明かにし眞比重を測定し空隙率を定め如何なる程度の含水量が存在し得るかを推定した．

(5) 鋪裝コンクリートの基層，上層用のものを基準とし比較の爲め類似配合のモルタル，セメントペーストをも使用し先づ試料平均溫度と溫度擴散率の値を明かにす，コンクリ

ート，モルタル，セメントペーストの順序に溫度の影響少くコンクリートに於ては溫度低き程溫度擴散率大である．今試料の中心溫度約 35°C の場合の値を掲ぐ．水分飽和狀態其の他に關しては本文を參照されん事を望むと共に熱傳導度，熱容量をも掲ぐ．

	溫度擴散率	熱傳導度	熱 容 量
鋪裝基層コンクリート	0.00980	0.00477	0.487
鋪裝上層コンクリート	0.0090	0.00472	0.523

（乾燥狀態にて單位は總て *C.G.S*）

（6） 作成後約 60 日迄の材齡に依るも材齡約 10 日程度までは一旦溫度擴散率增大し後除々に減少する傾向を示す．熱傳導度も最初熱容量增加するを以て溫度擴散率より著しく增加し一旦一定となり更に熱容量の減少に伴ひ減少す．

（7） コンクリート，モルタル等の熱傳導度等の空隙に依る影響を考察し空隙零に相當する極限値 λ_L を求め λ_L に對する骨材の配合による影響を論じ三角座標により示され得る可能性を示し，$\lambda_L=F(c.s.g)$ 曲面を引用した．但し $c:s:g$ は空隙零に於けるコンクリートのセメント硬化物，砂，砂利の含有量割合（假りに重量にて）を示す．λ_L が F の曲面上の一點として示し得る事を論ず．セメント硬化物は w/c 比により熱傳導度の値が變化するものとし其の影響を考慮に入れる三角座標は骨材そのものの材質空隙率は常に零として取扱ふを便とす．

（8） 更に空隙率が與へられたる場合含水量により影響を蒙る範圍及び其の結果熱傳導度に及ぼす影響を考察す．本實驗の資料によれば含水による熱傳導度の增加は最大の場合乾燥狀態の 1.60 倍程度である．コンクリートの空隙率小なる場合は增加率 1.30 以下であつた．

（9） 含水による熱傳導度の增加率は（8）項の極限範圍に於て個々の場合總て含水量と直線的に變つてゐる．

以上の如く本報告は資料としては鋪裝コンクリートを對照とせるも一般にコンクリートの熱的特性が如何なる要素に如何なる影響を蒙るやを實驗的に考察せしものである．資料の數僅少にて結論を下す事は更に今後の理論及び實驗的研究に俟つべきも略ゝ其の傾向を明かにすると同時に今後引續き行はるべき研究に於ける主要なる諸點を論究し明かにする事を得．

土木試驗所出版圖書

報告

第一號	路面及勾配が馬車運送に及ぼす影響に就ての研究中間報告 瀝青質材料竝瀝青質混合物に關する研究第一報	大正十四年三月發行
第二號	瀝青質材料針度に就て	大正十五年一月發行
第三號	「ヴァイアログ」に依る路面凹凸測定．瀝青混合物に關する研究．「アスファルト」合材混合の際に於ける「アスファルト」の粘度に就て	同　二月發行
*第四號	急硬セメントに關する試驗報告	同　五月發行
*第五號	簡易鋪裝に關する試驗報告	昭和二年三月發行
*第六號	混凝土及鐵筋混凝土抗拔力試驗報告	同　五月發行
*第七號	八幡製鐵所副產部製品，瀝青質材料，瀝青質鋪裝，「セメント」類及揮發油に對する「アスファルト」の可溶率等に關する試驗成績	同　七月發行
*第八號	瀝青質材料標準試驗方法．石材類標準試驗方法	同　十月發行
*第九號	急硬性「セメント」に關する試驗．「ソリデチット」の耐壓強度に關する試驗．「ブロック」に關する試驗．高知縣黑瀧川產砂に關する試驗．多摩川產砂利及砂に關する調查．石材類試驗成績	同　十一月發行
*第十號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第一） 道路橋振動試驗	昭和三年三月發行
*第十一號	瀝青滲透ブロック試驗成績．鋪裝工事用サーフエス・ヒーターの碎石に及ぼす影響に關する試驗．常願寺川產砂に關する試驗	同　七月發行
*第十二號	アスファルト・ブロック試驗成績．各種アスファルト・ブロック比較試驗成績．石油アスファルトとコール・タール・ピッチとの混合物に關する試驗．瓦斯燈及骸炭爐タール及ピッチに關する試驗成績．コール・タール・ピッチ中の純瀝青に就て．大氣中に於けるアスファルト・セメントの變化．石炭瓦斯のアスファルト・セメントに及ぼす影響．標準砂モルタルの強度に及ぼす火山灰及石粉の影響	昭和四年一月發行
第十三號	ポートランドセメント混凝土鋪裝の磨耗試驗．橋梁用敷板強度試驗．舊庇橋鐵材の腐蝕に關する調查．鋪裝用鑄鐵ブロック磨耗試驗	同　五月發行
*第十四號	瀝青乳劑及ピチユマルス鋪裝に關する試驗 瀝青滲透ブロックに關する試驗 瀝青質材料の滲透性に關する試驗 瀝青質材料の粘度及膨脹係數に關する試驗	同　十二月發行
*第十五號	北上川降削式轉動堰拔型試驗．電氣鎔接法による鐵筋の接合　現場打混凝土の耐壓試驗報告	昭和五年二月發行
*第十六號	路面の構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第二） 瀝青滲透ブロック鋪裝試驗．工事用石材試驗成績	同　五月發行
*第十七號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第三）	同　五月發行

*第十八號	混凝土鋪裝の粗骨材別骨粗比較試驗．鋪裝混凝土工に及ぼす氣象作用の影響竝に之に應ずる設計及工法に就て(一)．鬼怒川上流改修工事用角礫凝灰岩砂利及砂に關する試驗．鐵筋混凝土道路橋設計資料．各種土木工事用材料試驗成績	昭和五年十月發行
*第十九號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響竝に之に基く道路設計の基本に關する研究（第四）	同　十一月發行
第二十號	東京山手赤土の彈性的性質に關する試驗(一)．基礎の沈下量算定法(一)．岩淵水門に關する水理試驗．單鉸拱橋模型試驗．國道鐵筋混凝土丁桁橋標準設計案	昭和六年六月發行
第二十一號	背水曲線の一般的解法．單鉸拱の振動に關する理論竝に實驗混凝土鋪裝の縱目に關する試驗．河水のポルトランド・セメントに及ぼす影響．標準砂モルタルの强度に及ぼす石粉の影響．瀝青乳劑試驗成績	同　十二月發行
第二十二號	地震時土壓の實驗的研究．混凝土鋪裝縱目用エラスタイト試驗．高田馬場試驗鋪裝の路床土質に關する試驗．基礎の沈下量算定法(第二)．新土壓計算圖表．	昭和七年五月發行
第二十三號	簡易鋪裝に關する實地比較試驗．鋼矢板試驗．大和川筋鹽ノ濱地区に關する調査（第一）	同　七月發行
第二十四號	道路の背向曲線の設計に就て．阻柱に關する試驗．乳劑の粘度に就て．府縣道鐵筋コンクリート丁桁橋標準設計案．碎石の磨損率に關する一試驗．三陸津浪調査報告．本邦產鋪裝用石材（附錄）．	昭和八年六月發行
*第二十五號	本邦鋪裝用タールの性質に就て．橫溢流堤流量試驗．擁壁の安定增大に關する一提案及之に關する試驗．砂利層の支持力に關する試驗（第一報）．鋼矢板試驗（續）．エタニツト・パイプ試驗．	同　十一月發行
第二十六號	地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の斷面決定法．田中村調節池溢流堤に關する水理試驗．瀝青鋪裝切取試驗體の性質．道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第1報）．自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其一)	昭和九年三月發行
第二十七號	道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て．津浪の災害輕減に關する模型試驗．津浪の變形の理論．三陸津浪調査報告(追加)．自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其の二)．瀝青透入マカダムに關する試驗(第一報)	同　六月發行
*第二十八號	地震動による土堰堤の變形．鎔着鋼引張試驗用小型驗片．國產瀝青乳劑試驗成績．骨材及び類似材料の靱性に關する研究．鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計(1)	同　十月發行
第二十九號	矢板擁壁の控板に作用する力に關する試驗．瀝青繼目材試驗成績．南洋村カポール並にターペンタインの物理的諸性質に關する試驗．道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第2報）阪神地方沿岸風水害調査報告．	同　十二月發行
第三十號	道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第3報）．鐘口狀河口に於ける水流に就て．下關海峽の潮流に關する模型試驗．基礎版の基本的研究(第1報)．溢流堤下游洗掘防止に關する一試驗．國道鉄筋鈑桁橋標準設計案	昭和十年四月發行
第三十一號	土砂の安定强度試驗．本邦鋪裝用タールの性質（其の II）．道路鋪裝用タール乳劑に關する研究（第1報）．擁壁裏込の土壓輕減の効果に關する試驗．神戸港々口の潮流に關する試驗（第1報）．	同　八月發行

第三十二號	本邦道路橋の重量．道路鋪裝用タール乳劑に關する研究（第 2 報），河川彎曲部に於ける水流に就て．タールとアスファルトとの混合物の鋪裝材としての性質．タール鋪裝と水稻の發育との關係．ポートランドセメントの凝結後に於ける溶解物の *PH* に就て．玉泊堰堤の湯水の溫度及水素イオン濃度．	昭和 十 年十一月發行
第三十三號	砂利路面工の配合比に關する試驗．鋼橋鉚接番壓縮試驗．基礎版の基本的研究（第 2 報）基礎桁．道路鋪裝用アスファルトの力學的特性に就て（其の 1）．停止波に就て．	昭和十一年 三 月發行
第三十四號	瓦斯切斷による創殘が鉚接の强度に及ぼす影響．防波堤の安定に關する一試驗．二，三の土木材料の比熱測定結果に就て．二，三の外國製鋪裝用瀝靑乳劑の性狀に就て．土砂の安定强度に及ぼす加壓回數の影響．土木工事用金屬材料分析試驗．種々の土木工事用材料に關する試驗．施工方法による砂利路面工の耐力の比較試驗．鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計（2）．	昭和十一年 六 月發行
第三十五號	基礎版の基本的研究（第 3 報）圓形基礎版．浦戸港々口の潮流に關する試驗（第 2 報）．アスファルト混合タールの鋪裝材としての性質．鋪裝コンクリートの力學的性質に關する試驗．道路鋪裝用瀝靑乳劑の性狀に關する基本的研究（第 4 報）．	昭和十一年 八 月發行
第三十六號	瀝靑透入マカダムに關する試驗（第 2 報）．熔接鈑桁突縱鈑衝合接手の接合角度に就て．大阪港附近の津浪の災害輕減に關する模型試驗．道路鋪裝用瀝靑乳劑の性狀に關する基本的研究	昭和十一年十一月發行

其他

本邦道路橋輯覽	大正十四年十二月發行
本邦道路橋輯覽（增補）	昭和 三 年 三 月發行
*第六回國際道路會議に關する報告書	昭和 七 年 四 月發行
土木工事用材料標準試驗方法	昭和 七 年十二月發行
本邦道路橋輯覽 第三輯	昭和 十 年十一月發行

（*印は殘部なし）

昭和十二年五月 十 日 印 刷
昭和十二年五月十五日 發 行

內務省土木試驗所
東京市本鄉區駒込上富士前町二十六番地
電話大塚(86){自3101番 至3103番
印刷者 井上源之丞
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二
印刷所 凸版印刷株式會社
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二